Aus dem Hygienischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. O. Stickl

# Tetanus und Umwelt

## Unter besonderer Berücksichtigung der regionalen Verschiedenheit des Tetanus-Vorkommens

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Eugen Weller
aus Linping/China

Druck von H. Laupp jr in Tübingen
1941

Dekan: Professor Dr. Haffner

Berichterstatter: Professor Dr. Stickl

Zum Druck genehmigt von der Medizinischen Fakultät Tübingen

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549610_0075

# Einleitung.

Wenn schon auf dem Chirurgenkongreß 1906 die Ansichten über eine notwendige Immunisierung gegen den Wundstarrkrampf durch Anwendung von Tetanusserum erheblich auseinandergegangen sind, so sind diese Meinungsverschiedenheiten bis in die neueste Zeit noch nicht einer einheitlichen Stellungnahme gewichen. Im Gegenteil fallen bei Durchsicht der modernen medizinischen Literatur die zahlreichen Artikel und Arbeiten auf, die sich mit der Frage der Tetanusserumprophylaxe beschäftigen. Man kann geradezu von einer Unsicherheit, ja Verwirrung (L ö w e) sprechen, die die Ärzteschaft auf diesem Gebiete beherrscht. Will sich der Arzt bei Unterlassung der Serumprophylaxe bei einer bestimmten Verletzung einerseits mit der Tatsache beruhigen, daß der Tetanus selten auftritt, so sieht er sich auf der anderen Seite immer neu der Gefahr von Starrkrampferkrankungen auch nach unverdächtigen Verletzungen gegenüber. Vergegenwärtigt er sich das schreckliche Bild eines von dieser schweren Wundkrankheit Betroffenen, so wird eine Entscheidung wieder erschwert durch die Gefahr, durch Injektion von Tetanusserum eine Serumkrankheit auszulösen, die in durchschnittlich 30—40% der prophylaktischen Einspritzung auftritt (H. S c h m i d t) und sich nicht so selten als anaphylaktischer Schock äußert; daher „ist eine vorbeugende Gabe von Tetanusantitoxin durchaus kein harmloser Eingriff und verlangt eine strenge Anzeigestellung“ (J u n g). Andererseits nimmt der Arzt bei Unterlassung der Schutzimpfung eine große Verantwortung auf sich und muß zudem bei eingetretenem Starrkrampf gewärtig sein, eines Kunstfehlers beschuldigt oder gar auf Grund des Fahrlässigkeitsparagraphen vor Gericht zur Verantwortung gezogen zu werden. So ist es verständlich, daß dieses Problem der Tetanusschutzimpfung nicht zur Ruhe gekommen ist und immer von neuem einen Gegenstand der Diskussion bildet.

In den letzten Jahren sind nun immer deutlicher Stimmen laut geworden, die vor einer übertriebenen Anwendung der Serumprophylaxe warnen und einer Einschränkung bei Beobachtung besonderer

Indikationsstellungen und Bevorzugung einer gründlichen Wundtoilette nach Friedrich das Wort reden (Hübner, Ehalt, Junghanns). Zum Wortführer dieser Ansicht hat sich in neuester Zeit Hübner gemacht, welcher als Ergebnis seiner Untersuchungen den Satz aufstellt: „Der Wert der Serumprophylaxe ist stark in Zweifel gestellt und berechtigt nicht mehr zu einer allgemeinen Anwendung — Friedens- und Kriegserfahrungen geben diesem Standpunkte recht — eine rechtlich bindende Notwendigkeit besteht nicht."

Dieser „Angriff auf die Prophylaxe" veranlaßte Lehmann, einen von ihrer unbedingten Wirksamkeit überzeugten Anhänger der Serumschutzimpfung, zur Anregung einer Aussprache unter den deutschen Chirurgen „über die Notwendigkeit der Tetanusprophylaxe". Wenn auch die Mehrzahl dieser Chirurgen (G. Magnus, H. v. Haberer u. a.) sich für eine grundsätzliche Anwendung von Tetanusserum entschieden haben, fehlt es nicht an solchen, die die vorbeugende Einspritzung gegen Wundstarrkrampf durch scharfe Indikationsstellung auf einen umschriebenen Kreis von bestimmten Wundarten einengen (Junghanns) und „das Vorgehen von Hübner, die Tetanusprophylaxe erneut auf ihren wahren Wert zu untersuchen", begrüßen (Kirschner). Rehn warnt davor, aus Erfahrungen, welchen bestimmte lokale Verhältnisse zugrunde liegen, allgemein gültige Schlüsse zu ziehen oder gar Forderungen abzuleiten, ist vielmehr der Ansicht, daß „in solchen Stellungnahmen das regionäre gehäufte Auftreten des Tetanus und das nahezu völlige Freibleiben anderer Gegenden mehr Beachtung verdiente, als dies der Fall zu sein scheint".

Doch erhielt diese Tatsache der regionär verschiedenen Verteilung von Tetanus in den Richtlinien, die zu der Frage der Tetanusantitoxinverabfolgung von König, Schmieden, Heller, Magnus, Böhler, Bürkle de la Camp, zur Verth im Herbst 1938 aufgestellt wurden, bereits eine beachtenswerte Stellung, indem daselbst der dritte Leitsatz lautet: „Die Dringlichkeit der Empfehlung richtet sich nach der örtlich verschiedenen Tetanusgefahr." Ferner findet gerade diese Häufigkeit von Tetanusfällen in einem bestimmten Gebiet auch in den sonstigen Veröffentlichungen der letzten Zeit über den Tetanus eine immer wiederkehrende Erwähnung und Berücksichtigung für die Frage der Schutzimpfung.

So nennen Löwe und Hinstorff als die oberste Indikation für die Prophylaxe die „relative Häufigkeit" der Erkrankung in dem betreffenden geographischen Bezirke. Kunz und Junghanns halten es für berechtigt, die Serumprophylaxe einzuschränken, jedoch bei der Auswahl die regionäre Häufigkeit an Wundstarrkrampf in Betracht zu ziehen. Bürkle de la Camp bezeichnet außer

der Wundausschneidung die Tetanusserumprophylaxe als nicht notwendig, vorausgesetzt, daß diese Wunde nicht gerade bei den schmutzigsten landwirtschaftlichen Arbeiten oder in einer ganz ausgesprochen tetanusgefährdeten Gegend entstanden ist. Auch nach Löwe und Hempel muß in Orten mit Tetanusendemien jede Wunde, einerlei welcher Herkunft, ihre Schutzspritze bekommen, während man dort, wo der Tetanus ganz ausnahmsweise auftritt, mit der prophylaktischen Schutzimpfung zurückhaltender sein könnte. Ja, es gibt Gegenden, wie das Engadin oder Gebiete Norddeutschlands, wo überhaupt keine Tetanusprophylaxe getrieben wird, weil dort Starrkrampffälle nicht beobachtet werden.

Aus diesen Verhältnissen wird die große Bedeutung ersichtlich, die das Problem der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens tatsächlich für die Prophylaxe hat, wenn auch Hübner auf Grund theoretischer Erwägungen über die Verbreitung des Tetanusbazillus durch den heutigen dichten Verkehr zu der Meinung kommt, es sei nicht geraten, „aus den geographischen Unterschieden eine Richtschnur für das therapeutische Vorgehen zu entnehmen". In Wirklichkeit, in der ärztlichen Praxis, ist es anders, wie auch aus den erwähnten Zitaten hervorgeht. Solange jedoch diese unterschiedliche Häufigkeit eine problematische bleibt, wird kaum auf dem Gebiet der Prophylaxe eine prinzipielle Stellungnahme möglich sein. Erst eine befriedigende Erklärung jenes Problems wird auch auf diesem Gebiet der Therapie klarere Indikationsstellungen ermöglichen und allgemein gültige Bedingungen und Richtlinien für und wider die Notwendigkeit einer Tetanusserumprophylaxe aufstellen lassen.

## Das Problem der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens.

Schon seit jeher ist das verschieden häufige Auftreten von Tetanuserkrankungen in einzelnen Gegenden bei den Ärzten bekannt gewesen und von ihnen zu deuten versucht worden. Im Zusammenhang mit der Erklärung des Starrkrampfs als einer „rheumatischen" Krankheit wurden in vorbakterieller Aera meteorologische und klimatische Faktoren als Grund für die relative Häufigkeit der Krankheit an manchen Orten, ihre große Seltenheit an anderen ins Feld geführt, indem Gegenden und Witterungsverhältnisse, die die Entstehung von Erkältungen begünstigten, auch dem Tetanus Vorschub leisten sollten.

Nach Dazille, der im 18. Jahrhundert in Amerika Erfahrungen sammelte, waren besonders „niedrige, frische, feuchte Länder", aber

auch „heiße Gegenden mit heißen Nächten" für Tetanus gefürchtet; Bajon, Arzt in Cayenne, machte besonders die salzige Seeluft für das häufige Auftreten der Krankheit auf der Insel verantwortlich (Lang). Je direkter eine Person dieser ausgesetzt wäre, um so mehr sei sie gefährdet. Ein günstiger Einfluß auf das Vorkommen von Tetanuserregern wurde Sumpf- und Malariaboden zugeschrieben; dem widerspricht Hirsch auf Grund von den Berichten, daß aus Bengalen, einem großen Sumpfgebiete Indiens, keine Tetanusfälle bekannt sind, während man sie sehr häufig in Bombay findet, wo Malaria selten auftritt.

Es gibt, schon rein erfahrungsgemäß, Faktoren, welche die Erkrankung an Starrkrampf begünstigen. Bei diesen ist nun klar zu unterscheiden zwischen solchen, welche im Sinne der Disposition durch Schwächung der Widerstandsfähigkeit des Organismus (Allgemeinkrankheiten, klimatische Einflüsse) und damit örtlich-zeitlich bedingt wirken, und zwischen solchen Faktoren, die unter den Begriff der Exposition fallen, wie sie bestimmte Lebensgewohnheiten, z. B. mangelhafte Bekleidung, Barfußgehen und die damit verbundene leichtere Verwundbarkeit u. ä. mit sich bringen.

Solche Faktoren kommen vor allem für die tropische und subtropische Zone in Betracht und erklären nach Hill zum Teil die viel häufigeren Starrkrampferkrankungen in den Tropen (Dreschер). Doch interessiert in diesem Zusammenhang, daß auch in Europa gleichzeitig mit Epidemien gehäuftes Tetanusauftreten beobachtet wird, so in den Freiheitskriegen im Anschluß an den zahlreich vorkommenden Typhus (v. Lingelsheim). Aus diesen Beobachtungen bei Typhus, wie sie ebenfalls für Diphtherie und Anginen vorliegen, schließt Eisler, daß alle Momente, die die Widerstandskraft des Körpers herabsetzen, unter Umständen zum Ausbruch eines Starrkrampfs führen können. Für gewisse Länder dürfte auch die Auffassung von Bossano zutreffen, der das gehäufte Tetanusvorkommen in diesen Gebieten nicht meteorologischen und klimatischen Einflüssen zuschreibt, sondern eher einem Fehlen an hygienischen Maßregeln und einem Mangel an Asepsis (Lang).

Als erster hat Hirsch eine große Zusammenstellung über die geographische Verbreitung des Tetanus gegeben und recht scharfe Grenzen zwischen tetanusfreien und tetanusdurchseuchten Gebieten gezogen. So stellte er wenig Tetanusfälle in den kalten und gemäßigten Breiten fest, häufige dagegen in der subtropischen Zone (Rio de la Plata-Staaten, Algier, Kapland usw.). Er fand Hauptzentren in Mexiko, Peru, Brasilien, endemisches Auftreten auf San Domingo und Jamaika. Im Osten sind Hauptsitze Senegambien, Guinea, Madagaskar und von Asien insbesondere Indien, das seinerseits große Variationen der Häufigkeit in den einzelnen Landesteilen zeigt.

Wenn wir auch auf Grund solcher Berichte auf einen mehr oder weniger großen Gehalt der betreffenden Gebiete an Tetanuskeimen schließen können, so ist es nicht angängig, allein schon nach der Parallele zur Erkrankungsziffer den Grad des Bazillenreichtums eruieren und festlegen zu wollen. Insbesondere kann Gebieten, von denen kein Tetanus bekannt ist, wie dies z. B. am Kongo der Fall sein soll, daraufhin nicht ohne weiteres das Vorkommen von Tetanusbazillen abgesprochen werden. v. Lingelsheim sagt eindeutig, aus dem Fehlen der Krankheit an dem einen Ort und der Häufigkeit an einem anderen dürfe man noch nicht auf ein gleiches Verhalten der Bazillen schließen, weil eben für das Zustandekommen der Erkrankung außer dem Bazillus eine Reihe anderer Momente, wie sie schon oben erwähnt sind, eine große Rolle spielen. Immerhin hängt die Größe einer Infektionsgefahr von dem Gehalt des Bodens an Tetanuskeimen ab. Das heißt: ein Boden birgt um so mehr die Möglichkeit des Zustandekommens einer Tetanusinfektion in sich, je mehr Keime er enthält, oder, da das letztere kaum generell für ein bestimmtes Gebiet kartographisch festgelegt werden kann, je eher er auf Grund besonderer Bodenverhältnisse und Begleitumstände auf ein Vorkommen von Tetanusbazillen schließen läßt.

Zur Feststellung des Tetanusbazillus selbst und damit der Größe der Infektiosität des Bodens wurden seit Nicolaier, dem Entdecker des Tetanusbazillus, zahlreiche Untersuchungen angestellt, die eine erstaunliche Verbreitung seiner Sporen im Garten- und Ackerboden, im Straßenstaub, ein Vorkommen an den verschiedensten Gegenständen und selbst am menschlichen Körper ergaben, eine Tatsache, die schließlich zu dem Begriff der „Ubiquität des Tetanusbazillus“ führte.

Dieser allgemeinen Verteilung des Bazillus steht jedoch die Seltenheit der Erkrankung an Starrkrampf gegenüber. Eisler zieht aus diesem Mißverhältnis den Schluß, daß es zum Zustandekommen der letzteren besonderer, begünstigender Momente bedarf, die seiner Ansicht nach in der Beschaffenheit der Wunde, in einer mit Nekrose verbundenen Gewebsschädigung und in der Anwesenheit anderer Bakterien und der daraus resultierenden Mischinfektion begründet sind. Indem der Bazillus nur unter solchen ganz bestimmten Voraussetzungen seine Wirkung entfaltet, findet zwar der relativ seltene Ausbruch eines Starrkrampfes seine Erklärung, nicht aber sein regionär gehäuftes oder fehlendes Auftreten. Denn dieses letztere ist auch in einem klimatisch und kulturell geschlossenen Gebiet, wie es etwa Mitteleuropa darstellt (s. u.), festzustellen, also in einem Raum, in dem die eine Tetanusinfektion begünstigenden Faktoren und Voraussetzungen überall in einheitlicher Weise vorliegen und von sich aus eine annähernd gleichmäßige Tetanusverteilung garantieren könn-

ten. Wenn also diese regionale Verschiedenheit nicht durch regional verschiedene Infektionsvoraussetzungen bedingt ist, muß sie in Vorkommen und Verhalten des Tetanusbazillus selbst begründet sein.

Auf dem Chirurgenkongreß 1906 teilte Körte mit, daß er von einer Prophylaxe vollständig absehe, da Berlin anscheinend für das Gedeihen von Tetanuskeimen keinen geeigneten Boden biete. Noch bis heute hat Körte in seinem im Süden Berlins gelegenen Krankenhaus kaum Tetanusfälle erlebt, während das Virchowkrankenhaus im Norden von Berlin häufig solche Erkrankungen beherbergt. v. Haberer sah in den Alpenländern fast keine, in Düsseldorf zahlreiche Tetanusfälle. Campell berichtet aus dem Engadin, Tetanus gäbe es dort nicht, was von den dortigen Ärzten auf klimatische Einflüsse zurückgeführt würde. Tetanusbazillen kämen auf Höhen von über 1400 bis 1600 Meter kaum vor. Kunz fand für Österreich eine regionäre Verschiedenheit im Vorkommen von Starrkrampf. In der von ihm aufgestellten Tetanusstatistik der Jahre 1928 bis 1932 stehen Steiermark mit 139 und Niederösterreich mit 121 in Krankenanstalten behandelten Fällen weitaus an der Spitze der übrigen Länder Österreichs. In Steiermark war die Zahl der durch Tetanus verursachten Todesfälle sogar fast doppelt so hoch wie die Zahl der Typhustodesfälle. Diese Häufigkeit wird von v. Haberer aus Graz, wo die Chirurgische Klinik die höchste Zahl von Tetanuserkrankungen in ganz Österreich aufweist, bestätigt.

Am auffallendsten zeigt diese Unterschiede im Tetanusvorkommen ein Vergleich der Zahlen von Tetanusfällen auf den einzelnen Kriegsschauplätzen des Weltkrieges, indem die Verletzungen an den verschiedenen Fronten verschieden häufig von Starrkrampferkrankungen gefolgt waren. Nach Madelung erreichte die Zahl der letzteren in den ersten drei Kriegsmonaten, in denen die konsequente Tetanusprophylaxe noch nicht durchgeführt wurde, im Elsaß 6,6‰; in diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß nach Einführung der allgemeinen Tetanusschutzimpfung Ende Januar 1915 nach Franz, wie Lehmann mitteilt, der Tetanus im deutschen Heer von 0,38% auf 0,04%, bei den Franzosen von 0,5% auf 0,05% sank. Kreuter teilt mit, daß von den Verwundeten und Kranken, die bis Ende September 1914 in Bayern behandelt wurden und von denen 0,7% gestorben sind, 0,4%, also mehr als die Hälfte der Todesfälle, an Starrkrampf zugrunde gegangen sind. Im August 1914 betrug die Zahl der Tetanuserkrankungen 3,7‰ der Gesamtzahl der Verwundeten; im September 1914 stieg diese Zahl sogar auf 9‰. Auf französischer Seite trat der Wundstarrkrampf noch häufiger auf; Bazi berechnete ihn auf 1,184% seines Krankenmaterials (Gußmann).

Dagegen wurde auf den anderen Kriegsschauplätzen Tetanus selten beobachtet. Nach dem Bericht von Konrich waren im Osten insgesamt nur 81 Erkrankungen gemeldet, von denen nicht weniger als 60 auf die Südarmee entfallen und nur 21 auf den übrigen Teil der Ostfront (Hübner). Pribram beobachtete während der ersten 5 Kriegsmonate 28 Tetanusfälle bei insgesamt 8200 verwundeten österreichischen Soldaten, wobei die meisten und am schwersten verlaufenen Fälle von den Schlachtfeldern in der Gegend von Krakau stammten. Hübner hat bei dem Vormarsch in der Dobrudscha nur vereinzelte, leicht verlaufene Tetanusfälle kennengelernt. Im englischen Krimkrieg erkrankten trotz der noch ungenügenden Wundversorgung nur 1,5‰ an Starrkrampf.

Die Häufigkeit des Wundstarrkrampfes auf dem westlichen Kriegsschauplatz führt Gußmann auf die besonders schwere Verseuchung des dortigen Bodens durch Tetanuskeime zurück. Während er am Kriegsbeginn infolge der überall häufigen Tetanuserkrankungen kein bestimmtes Gebiet als besonders gefährdet bezeichnen kann, fallen ihm in späteren Kriegsmonaten die Champagne und Verdun als besonders reich an Tetanusfällen auf. Eine Abhängigkeit der Häufigkeit und der Schwere der Erkrankung von der Witterung ließ sich von Gußmann nicht einwandfrei feststellen.

Young fand bei seinen Untersuchungen über die geographische Verteilung aller während der Jahre 1901 bis 1909 in England und Wales zur Beobachtung gekommenen tödlichen Tetanusfälle, daß die größte Häufigkeit die südlichen Teile der Midlands aufzuweisen hatten. Geologisch liegt dieser Bezirk auf Kreide; dies ist bemerkenswert im Hinblick auf die Tatsache, daß Kalksalze nach den Versuchen von Bullock und Cramer die Tetanusinfektion begünstigen sollen. Young hält es für wahrscheinlicher, daß die in diesen Gebieten betriebene intensive Landwirtschaft in erster Linie für die starke Verbreitung des Tetanus verantwortlich zu machen ist.

Löwe und Hinstorff wurden durch die immer häufiger vorkommenden Mitteilungen, die auf eine örtliche Verschiedenheit im Vorkommen des Wundstarrkrampfes hinweisen, zu der Frage der geographischen Verbreitung veranlaßt. Um Unterlagen dafür zu bekommen, stellten die Autoren eine Umfrage bei allen wichtigeren Krankenanstalten Deutschlands an. Als Ergebnis dieser Anfragen nach Zahl von Tetanusfällen, Zahl der Tetanustodesfälle und der anaphylaktischen Schocks und nach den geübten Indikationsstellungen für eine prophylaktische Spritzung ergaben sich ausgesprochene regionäre Unterschiede, die sich am besten in dem Verhalten der Ärzte der Serumschutzbehandlung gegenüber zeigen. Eine ausgesprochene Einschränkung der Prophylaxe, stellenweise sogar Gegnerschaft, fand sich in Ostpreußen, Mecklenburg, Nordhannover, Teilen

von Mittelbayern südlich von Nürnberg, östlichen Teilen von Hessen-Nassau und teilweise Pommern. Regelmäßige, z. T. absolute Prophylaxe wird in Schlesien, Sachsen, Westfalen, Rheinprovinz, größtenteils westlichem Süddeutschland, Westküste von Schleswig-Holstein gehandhabt. Diese Tatsachen wie ein Blick auf die Karte, in der die ermittelten Tetanusfälle eingetragen waren, zeigten, daß manche spezifisch landwirtschaftlichen Gebiete Deutschlands, vor allem Norddeutschlands, relativ wenig von Tetanus heimgesucht sind, während Industriebezirke zahlreiche Tetanusfälle aufweisen. Wenn sich damit bei Löwe und Hinstorff starke Bedenken gegen die reine Düngertheorie erhoben, versuchten sie auf der anderen Seite einen ursächlichen Zusammenhang für diese auffallende geographische Verteilungsdifferenz zu finden. Sie gingen von der Vermutung aus, daß in einer tetanusarmen Gegend die Erreger nicht immer fehlen, wohl aber in einer biologisch stark veränderten, also etwa einer für den menschlichen Organismus apathogenen Form vorkommen. Bei der Annahme von Zusammenhängen mit der Geologie, die eine Virulenzänderung bewirken könnten, wurden sie durch die Mitteilung von Young (im Kreidegebiet besondere Tetanushäufigkeit), die Arbeit von Bullock und Cramer (Begünstigung der Infektion durch Kalksalze) und durch die starke Tetanusverbreitung in der Champagne und auf Rügen unterstützt. Doch konnte schon für Gesamtdeutschland ein Zusammenhang zwischen Kalk und Tetanus nicht nachgewiesen werden und darüber hinaus ließ ein Vergleich der Tetanuskarte mit einer geologischen Karte von Deutschland überhaupt keine Zusammenhänge zwischen Tetanus und Geologie finden.

Berghaus lehnt die Erklärung der verschiedenen Häufigkeit des Tetanus auf Grund geologischer Verhältnisse ab, weil er das Seltenerwerden des Tetanus in industriellen Bezirken gegenüber den ländlichen, in denen die Tetanussterblichkeit im Vergleich zu früher nur wenig zurückging, und die daraus resultierende, auffallende Tetanusdifferenz zwischen Land und Stadt in den besseren hygienischen Einrichtungen, in der gründlicheren Wundversorgung und besonders in der häufigeren Serumprophylaxe innerhalb der städtischen, industriellen Bezirke begründet sieht.

Mußte auch diese Theorie über eine Bedeutung der Geologie fallen gelassen werden, so kann doch auf Grund der regionalen Verteilungsdifferenz nach Löwe „nur die Bodenbeschaffenheit, die Chemie des Nährbodens an diesem Gedeih oder Verderb der Parasiten schuld sein, will man nicht zu den Erdstrahlen oder ähnlichen dunklen Einflüssen seine Zuflucht nehmen". Auf Grund einer erneuten Rundfrage bei den Ärzten und Tierärzten von Frankfurt a. M. und Umgebung fand er für diese Auffassung „weiteres Beweismaterial". „Mit einer geradezu unwahrscheinlichen Exaktheit fehlt in den Bezirken,

in denen der menschliche Tetanus zu Hause ist, der tierische fast vollständig und umgekehrt, so daß man, wenn man von einzelnen sporadischen Fällen absieht, sagen kann, daß tierischer und menschlicher Tetanus im gleichen Bezirk einander ausschließen." Die chemische Zusammensetzung des Untergrundes würde darüber entscheiden, ob Typus humanus oder Typus equinus des Tetanusbazillus in einer bestimmten Gegend vorkommt.

Wenn wir oben in Anbetracht der Unterschiede innerhalb der Tetanusstatistik einzelner Gebiete auch auf eine regionale Verschiedenheit im Vorhandensein von virulenten Tetanusbazillen geschlossen haben, wird dieses durch die Ergebnisse umfangreicher Bodenuntersuchungen auf den Gehalt an Tetanuskeimen bestätigt. Es bestehen darüber gleichlautende Angaben von Hirsch, Nocard, v. Lingelsheim, Dubovsky and Meyer, Young and Payabal und Lang, auch R. Schmidt und Drescher. So konnten Dubovsky und Meyer feststellen, daß im Osten des Mississippi häufiger Tetanusbazillen zu finden waren als im Westen. Spezielle Untersuchungen in Kalifornien zeigten bei Bergboden negative Resultate. Es ist für die beiden Autoren glaubwürdig, daß ursprünglich von Tetanus freie Zonen durch Handel und Industrie infektiöse werden. Damon und Payabal untersuchten den Boden von Maryland und kamen nach Vergleich mit den Resultaten ähnlicher Arbeiten aus Kalifornien zu dem Schluß, daß in Kalifornien der Tetanusbazillus beinahe doppelt so verbreitet ist wie in Maryland. Lang untersuchte die Verbreitung des Tetanusbazillus im Erdboden der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung der Höhenlagenverbreitung. Neben einem allgemeinen Vorkommen in der Erde unterscheidet er Zonen, in denen der Tetanusbazillus vollständig fehlen kann und die er als „tetanusantigene Zonen" bezeichnet. Die Höhe bedinge eine Abnahme der Existenzmöglichkeiten für die Tetanuskeime, schließe aber Vorhandensein derselben nicht aus.

Es steht fest, daß Parallelen zwischen dem Tetanuskeimgehalt des Bodens und dem Grad der Häufigkeit von Starrkrampferkrankungen in einem bestimmten Bezirk bestehen, indem seltene Tetanusfälle auf eine Keimarmut im Boden schließen lassen und umgekehrt. Die Frage aber, warum es tetanusreiche und tetanusarme Bezirke gibt, steht noch offen. Wohl hat es — wie wir sahen — nicht an Versuchen, diese Verhältnisse zu deuten, gefehlt, doch ohne daß diese auf dem Wege der Deduktion über unklare Vorstellungen und Vermutungen zu einer befriedigenden Erklärungsmöglichkeit für das verschiedene Tetanusbazillenvorkommen hinausgekommen sind.

Hier soll der umgekehrte Weg beschritten werden, indem experimentelle Ergebnisse zeigen sollen, ob es Faktoren gibt, welche eine

ungleiche Verteilung der Tetanussporen im Boden bedingen können und ob damit ein Befund zu erheben ist, bei dem sich Versuch und Erfahrung begegnen.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde von systematischen Bodenerhebungen, wie sie den bisherigen experimentellen Arbeiten über das Tetanusvorkommen zugrunde lagen, abgesehen. Dabei waren die Erwägungen bestimmend, daß die Einzelbilder, die sich bei solchen verschiedensten Einzeluntersuchungen ergeben, leicht von irgendwelchen unerkennbaren Faktoren gefälscht werden, was der Erkennung eines einheitlichen Gesamtbildes im Wege steht, und daß vor allem sich aus einigen lokalgültigen Ergebnissen kaum ein prinzipieller Weg für die Erklärung der regionalen Verschiedenheit des Tetanus überhaupt finden läßt. Vielmehr dienten den Versuchen, die im Laboratorium angestellt wurden, nur die Proben weniger, sicher tetanushaltiger Bodensorten.

## Versuchsanordnung.

Die Erdproben wurden mit sterilen Petri-Schalen, welche eine direkte Entnahme der Erde ermöglichten, gesammelt und an der Luft getrocknet. Die erhebliche Resistenz der Tetanussporen erforderte keine sofortige Aufarbeitung des Versuchsmaterials. Die Aufbewahrung erfolgte bei niederer Zimmertemperatur, denn schon v. Lingelsheim erwähnt, daß unter 14° weder Auskeimung noch Vermehrung zu beobachten ist. So war auch die Möglichkeit gegeben, Wiederholungs- oder Vergleichsversuche mit ein und derselben Bodenprobe anzustellen.

Die trockene Erde wurde in einem metallenen Mörser vorsichtig zerrieben, um die einzelnen natürlichen Bodenteilchen zu trennen, und dann durch den Knoopschen Siebsatz gesiebt. Dadurch ließen sich dreierlei Partikelgrößen isolieren:

Größe a = < 0,5 mm,
Größe b = 0,5—1 mm,
Größe c = 1—2 mm im Durchmesser.

Auf diese Weise war es möglich, von einem Boden das Verhältnis der ihn zusammensetzenden Korngrößen in einem für den Rahmen der vorliegenden Problemstellung ausreichenden Maße festzustellen und die in die einzelnen Partikelgrößen getrennten Bodenfraktionen selbst isoliert auf ihren Tetanuskeimgehalt zu untersuchen.

Dem Nachweis von Tetanusbazillen dienten der Tierversuch mit Beobachtung der klinischen Symptome und die mikroskopische Untersuchung nach eingetretenem Tode des Tieres. Da nur mit

wenigen und — wie vorausgegangene Tierversuche ergeben hatten — sicher tetanushaltigen Bodensorten und mit Tetanuskulturen gearbeitet wurde, wurden weitere, komplizierte Methoden wie Traubenzuckerblutagarserien, wie sie Zeißler zur Differentialdiagnose und Isolierung empfiehlt, nicht angewandt.

Um eine bestmögliche Beweiskraft experimenteller Tierinfektionen mit Tetanusbazillen oder -sporen für das Vorkommen dieser in Bodenproben zu erzielen, halten Wolff-Eisner und Jahr den bisherigen Infektionsmodus, Erde in eine künstlich angelegte Hauttasche des Versuchstieres zu bringen, für unzweckmäßig und empfehlen dafür folgende Methode: Die Erde wird in einer Reibschale zu einer feinen Emulsion verrieben, diese durch ein Filter aus gewöhnlichem Verbandmull hindurchfiltriert; das Filtrat kann dann mit gewöhnlichen Rekordspritzen bei Verwendung mittlerer Kanülen injiziert werden. Gegen die alte schon von v. Nikolaier gebrauchte Methode [1]) führen die beiden Autoren an, daß bei ihrer Anwendung die Tiere blitzartig absterben oder aber, wenn man die Erdmenge verkleinerte, sich Versager finden. Dagegen berichtet R. Schmidt, daß die Verimpfung einer bestimmten Menge Erde in eine Hauttasche bessere Ergebnisse gezeigt hätte.

Beim Beginn der vorliegenden Versuchsreihe, bei der wir einschließlich von Test- und Probeversuchen im ganzen 110 Mäuse impften, wurden beide Infektionsmethoden angewandt. Doch kam dann der alte Modus mit Verimpfung in eine Hauttasche, die mit einer scharfen Schere in die Rückenhaut der Maus angelegt und mit 1—2 Nähten verschlossen wurde, ausschließlich zur Verwendung, weil sie sich als recht zuverlässig erwies; zum mindesten bestätigten sich die von Wolff-Eisner angeführten negativen Argumente bei diesen Versuchen nicht. Doch diente darüber hinaus dieser Infektionsmodus aus folgenden Gesichtspunkten, für welche er sich als recht zweckmäßig herausstellte: einmal konnte nur auf diese Weise auch gröberer Boden (Größe b und c) eingepflanzt werden — zur Herstellung einer Erdemulsion nach Wolff-Eisner ist nur feine Erde (Größe a) geeignet; dann ließ sich nur so das Impfgut einschließlich des Wundgebietes nach erfolgtem Tode des Tieres zum Ansetzen einer Kultur vollständig exstirpieren bzw. ohne vorherige Bebrütung einwandfrei auf Tetanusbazillen mikroskopisch untersuchen, während bei der Injektionsmethode leicht eine diffuse Ausbreitung des Impfmaterials eintreten kann; und schließlich entspricht die andere Methode eher der natürlichen Infektion mit tetanushaltigem Material.

Da die Erde bzw. in späteren Versuchen der Sand in trockenem

---

1) Der Verimpfung in eine Hauttasche.

Zustand verwendet wurden, ließen sich die einzelnen Impfmengen genau abwägen. Von Partikelgröße a wurden 30—50 mg, von b und c 50—100, manchmal auch 150 mg verimpft. Bei den letzten Versuchen gaben wir nach Einführung der trockenen Erde vor dem Verschließen der Hauttasche einen Tropfen einer angewärmten physiologischen Kochsalzlösung hinzu. Dieses erwies sich für ein rascheres Auskeimen der Tetanussporen als sehr vorteilhaft. Vergleiche mikroskopischer Abstriche von demselben Impfmaterial, welchem einmal Flüssigkeit zugesetzt und welches das andere Mal trocken geblieben war und erst vom Tier mit Flüssigkeit durchtränkt werden mußte, zeigten, daß bei der ersten Impfprobe in kürzerer Zeit erheblich mehr Sporen gebildet und ausgewachsen waren als bei der zweiten. Dementsprechend waren auch die klinischen Erscheinungen stürmischer. Diese beschriebene Methode stellt ein Züchtungsverfahren sozusagen mit einem „Nährmedium in vivo" dar, das wachstumsförderndes Solvens, Mengenkleinheit des Ausgangsmaterials, Genauigkeit in der Dosierungsmöglichkeit verbindet mit weitgehender Anaerobiose, gleichmäßiger Bruttemperatur, der Möglichkeit, die Pathogenität zu differenzieren, und nicht zuletzt mit dem von Zeißler und anderen Autoren berichteten Vorteil der Tierpassage, der darin besteht, daß letztere etwa degenerierte Tetanusstämme anzufrischen bzw. zu regenerieren vermag. Damit besteht die Möglichkeit, rasch Tetanuskeime zur Anreicherung zu bringen und so aus kleinen Mengen Impfmaterials durch anschließende Übertragung in Bouillon reiche Tetanuskulturen herzustellen (vgl. u.).

Die geimpften Mäuse wurden im Maximum über mehrere Wochen auf Tetanussymptome beobachtet; bei erfolgtem Tode wurde soweit als möglich ein Abstrich von der Hauttasche gemacht, dieser nach Gram gefärbt und auf Tetanusbazillen bzw. -sporen mikroskopisch untersucht. Solche Fälle, bei denen die tetanischen Symptome nicht einwandfrei waren oder die Erhärtung eines Versuchsergebnisses als wünschenswert erschien, wurden ein zweites und auch drittes Mal wiederholt und in der Statistik nebeneinander aufgeführt.

Nach Versuchen von Knorr ist die Nahrungsaufnahme sehr bedeutungsvoll für das Zustandekommen einer tetanischen Infektion. So kann sich beim jugendlichen Tier die Inkubationszeit um das Doppelte verlängern oder können sonst absolut wirksame Dosen jedes Symptom vermissen lassen. Diese Tatsache findet in den Versuchen von Anton eine Bestätigung, indem abgemagerte Tiere gegenüber Intoxikationen mit Tetanustoxin wesentlich resistenter sind als reichlich ernährte. Wenn auch bei unseren Versuchen die Tiere reichlich mit Futter versehen wurden, ist doch letzten Endes eine Beeinflussung in der Nahrungsaufnahme nicht möglich und somit ist darin ein Grund zu sehen, welcher die schon von Beh-

ring beobachteten Schwankungen in der Giftempfindlichkeit bei Mäusen unmöglich ganz vermeiden läßt.

Wenn Zeißler feststellt, das differenzialdiagnostische Ergebnis des einfachen Tierversuches bei Tetanus sei weniger eindeutig als etwa beim Botulismus, so ist umgekehrt die verschiedentliche Beobachtung bemerkenswert, daß Tiere nach 2—3 Tagen Inkubationszeit ohne tetanische Symptome und fast leblos vorgefunden wurden, aber bei Berührung in stärksten Tetanus verfielen, während sie sonst in der uncharakteristischen Haltung verendet wären (z. B. Versuch Nr. 50). Im mikroskopischen Bild zeigten sich jeweils sehr zahlreiche Tetanusbazillen; Parallelversuche ergaben meist auch klinisch typischen Tetanus. Daraus ist also zu ersehen, daß eine starke Tetanusvergiftung nicht nur in den ersten 24 Stunden, falls in dieser Zeit der Tod eintritt, ohne charakteristische Symptome bleiben kann, wie Zeißler berichtet, sondern daß auch bei einem nach dieser Zeit in uncharakteristischer Haltung verendeten Tier das Vorliegen eines Tetanus lediglich aus dem Aspekt nicht ausgeschlossen werden kann.

Zur Reinzüchtung des Tetanusbazillus aus verdächtigem Material empfiehlt sich nach Eisler das schon von Kitasato geübte Verfahren, das zu untersuchende Material auf einem Nährboden 24 Stunden zu bebrüten und dann die Kultur ¾ bis 1 Stunde in einem Wasserbad von 80 ° zu halten, um die übrigen Mikroorganismen abzutöten. Anschließend erfolgt Weiterbebrütung in sauerstofffreier Atmosphäre.

Zeißler hat für die Herauszüchtung der Keime aus dem Ausgangsmaterial zum Teil neue Wege beschritten. Für diese wird angegeben: 1. die primäre Traubenzuckerblutagarserie, 2. der primäre Tierversuch, 3. die Anreicherung in Leberbouillon oder in Hirnbrei oder in verdauter Bouillon. Nach der Herauszüchtung der Anaerobier mit einer Traubenzuckeragarplattenserie oder mit erst künstlicher Anreicherung in der Kultur oder im Tierversuch erfolgt die Trennung der verschiedenen Anaerobenarten, und zwar wieder durch Kultur auf der Plattenserie, durch den Tierversuch zur Trennung der pathogenen Arten und durch abgestufte Erhitzung der Kulturen in Leberbouillon.

Gilles fand nach Vergleich mehrerer in der Literatur angegebener Verfahren zur Isolierung von Tetanusbazillen aus Mischkulturen folgende den anderen überlegen: 20 g Straßenstaub werden in 40 bis 45 ccm steriler Kochsalzlösung eine Stunde lang auf 80 bis 82 ° erhitzt, dann mit 95 ccm steriler Bengtsonscher Fleischbrühe vermischt und unter Vaselineverschluß 8 Tage lang bei 37 ° bebrütet. Eine Eliminierung der sporenbildenden Aeroben erfolgt durch wiederholte Übertragungen auf Kristallviolett (1 : 100 000) enthaltende Dextrosebouillon; aus der übrig bleibenden Anaerobenmischkultur

werden die Tetanusbazillen auf peptischem Blutinfusionsagar isoliert und daraus nach vier Passagen in Holmans Bouillon in Reinkulturen gewonnen. Jedoch ist es, wie schon Eisler zugibt, nur in Ausnahmefällen erforderlich, zum Nachweis von Tetanusbazillen diese komplizierten Methoden anzuwenden. Meistens wird man infolge der höheren Resistenz der Tetanussporen mit dem geschilderten Verfahren der Erhitzung auskommen. — Zur Gewinnung einer Tetanuskultur versuchten wir die von Gilles angegebene Methode. Die Erfolge waren jedoch nicht einwandfrei, vielleicht deshalb, weil kleinere Dosen angesetzt wurden. Erwähnt doch schon Glamser, daß der Nachweis und die Isolierung von Anaerobiern aus besonders keimarmem Material nur dann gelingt, wenn große Mengen des Materials in ein geeignetes Nährmedium zur Anreicherung gebracht werden.

Dagegen haben sich Kulturen — wie schon oben erwähnt — aus kleinen Mengen tetanusverdächtigen Materials auf folgende Weise in befriedigender Güte gewinnen lassen: etwa 50 mg gesiebte Gartenerde wurden einer Maus eingeimpft; nach dem unter den klinischen Erscheinungen des Tetanus erfolgten Tode des Tieres wurde nach Abtragung der Haare und Desinfizierung der Haut das ganze Wundgebiet samt Impfgut exzidiert und in Leberbouillon einen Tag lang bei 37 ° bebrütet; eine Erhitzung wurde deshalb nicht sofort angeschlossen, um Keime, die zu dieser Zeit noch keine Sporen gebildet hatten, nicht zu vernichten; nach diesen 24 Stunden erfolgte eine einstündige Erhitzung der ganzen Kultur im Wasserbade auf 80 ° zur Isolierung der Sporen. Dann wurde diese Sporenkultur im Vakuum des Anaerobenapparates nach Zeißler 8 Tage bei 37 ° bebrütet. Zum Nachweis der Tetanusbazillen und -toxine dienten der Tierversuch und die mikroskopische Untersuchung von Ausstrichen, welche beide in den Tabellen unter „klinischem" bzw. „mikroskopischem" Tetanusbefund aufgeführt werden, wobei die Anzahl der Kreuze (+) die Intensität der Befunde angeben soll. In Fällen, in denen ein mikroskopischer Nachweis von Tetanusbazillen direkt aus der Impfwunde nicht möglich war, wurde dasselbe Züchtverfahren zur Anreicherung der Keime angewandt.

Die Versuchsreihe der Tabelle I gab sicher tetanushaltigen Boden an die Hand, mit dem es möglich war, für folgende Versuche benötigte sporenreiche Kulturen herzustellen.

Darüber hinaus ist in den ausgeführten Versuchen zu erkennen, daß von Boden mit einem größeren Partikeldurchmesser eine größere Gewichtsmenge zur Erzielung einer gleich starken Infektion notwendig ist als von Boden mit kleinerer Partikelgröße. Diese Tatsache ist um so bedeutsamer, als es sich bei beiden Teilchengrößen jeweilig um denselben Mutterboden handelt, dem sie entnommen

Tabelle I: Verschiedene Bodenproben.

| Nr. | Bodenprobe | Impfmaterial Größe | Menge mg | Tod nach Std. | Tetanusbefund klin. | mikroskop. | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Komposterde, Mist enthalt. | a + b | 30 | 18 | ? | | |
| | | | 30 | 45 | ++ | +(+) | Imfgut vorerhitzt |
| 2 | Albacker | a | 30 | 65 | ++ | - | Tier getötet |
| 3 | Lehm, seit 12 Jahren nicht mehr gedüngt | a + b | 30 | 65 | ++ | ++ | Tetanus etwa gleichzeitig auftretend, klin. u. mikrosk. kein Unterschied. Tiere getötet |
| 4 | derselbe Lehmboden, gedüngt | a + b | 30 | 65 | ++ | ++ | |
| 5 | Keuper, großporiger, gedüngt wie 4 | a + b | 30 | 85 — 90 | ++ | + | |
| 6 | schwerer gedüngter Gartenboden | b | 100 | 70 | ++ | 8tägige Kult. + | |
| | | a | 50 | 55 | + | | |
| 7 | dto., aus 25 cm Tiefe | a | 50 | 18 | + | ? | nicht typ. Tetanus |
| 8 | leichter Gartenboden, gedüngt | b | 100 | 45 | + | 14täg. Kult. | |
| | | a | 50 | 55 | ++ | | |
| | | a | 20 | 96 | + | + | als Suspension |
| 9 | dto., aus 25 cm Tiefe | a | 50 | 45 | + | | |
| 10 | Komposterde, ohne Mist | a | 50 | 18 | + | 6tägig. Kult. ++ | Tierversuch: 0,5 ccm der Bouill. injiz., n. kurz. Zt. ++ Tetan. Dch. lange Erhitz. tox.-frei gemachte. Bouill.: Tiervers.: 0,1 ccm n. 18 Std. tot, klin. u. mikroskop. ++ |
| | | | 30 | 20 | + | | |
| | | b | 100 | 19 | + | | |
| | | | 50 | 25 | + | Kultur | |
| | | ungesiebt | 100 | 18 | + | + | |

sind; der verschiedene Tetanusbazillengehalt muß daher einen Grund haben, der nur in der physikalischen Ungleichheit beider Teilchenformen gelegen sein kann. Daraufhin weisen auch die Ergebnisse der Versuche mit abgestuften Gewichtsmengen einer bestimmten Partikelgröße, wie die Versuche Nr. 8 und 10, in denen bei größerer Impfmenge der Tetanus klinisch früher auftritt.

Nachdem eine solche verschiedene Tetanusbazillenverteilung auf Größe a und b festgestellt war, lag es nahe, die Größe a (kleiner als 0,5 mm) ihrerseits noch weiter unterzuteilen und die dabei sich ergebenden Fraktionen getrennt im Tierversuch auf Tetanusgehalt nachzuprüfen. Da so feinporige Siebe, wie sie zu diesem Zweck notwendig gewesen wären, nicht zur Verfügung standen, wurde eine Abtrennung verschiedener Staubqualitäten durch Suspension der Bodengröße a in Wasser erreicht. Bei der Ausführung beobachtete Vorsicht durch Vermeidung unnötigen Umschüttelns sollte möglichst

verhüten, an den Erdpartikeln haftende Sporen zu mobilisieren und damit für die einzelnen Fraktionen unrichtige Werte zu bekommen. Es ergaben sich dreierlei Sorten:

A = sofort nach der Suspendierung ausfallend,
B = nach 5 Minuten ausgefallen,
C = nach einigen Stunden ausgefallen und zentrifugiert.

Dabei war das Gewichtsverhältnis von A zu B zu C = 5000 : 850 : 50. Vor Anstellung der Tierimpfung mit diesen drei Bodenfraktionen wurden sie an der Luft getrocknet.

Tabelle II, Humusboden, in feine Partikelfraktionen isoliert.

| Nr. | Fraktion | Impf-menge | Tod nach Stunden | Tetanusbefund klinisch | Tetanusbefund mikroskopisch |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | A + B + C = a | 30 | 20 | + | 6täg. Kult. + |
| 12 | A | 30 | 1) 24<br>2) 32 | ++<br>? | + |
| 13 | B | 30 | 1) 42<br>2) 36 | +<br>+ | 8täg. Kult. +<br>+ |
| 14 | C | 20 — 25<br>20 | 1) 16<br>2) 35 | +<br>+ (+) | Kult. +<br>NB. Als Suspension. die mit eingetretene Luft kann die längere Inkubationsdauer erklären |

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Versuchsreihe — Tabelle II — zeigt die bereits bei den wenigen Tierversuchen einheitliche und desto mehr bemerkenswerte Tatsache, daß die Partikelgrößen A und B eine erheblich geringere Tetanusinfektiosität aufweisen als die Mischung aller drei Fraktionen A, B und C. Andererseits zeigt C allein in kleinerer Dosis einen größeren Tetanuskeimgehalt auf.

Aus dieser kleinen Tierversuchsreihe können gewiß keine sicheren Schlüsse gezogen werden, jedoch bieten die Versuchsergebnisse wegen ihrer Einheitlichkeit einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, welche den Versuch einer Erklärung dieser Ergebnisse zuläßt. Zu letzterem können zwei Möglichkeiten dienen. Die eine ist die, daß die gröberen Partikel primär einen geringeren Gehalt an Tetanusbazillen bzw. -sporen haben — diese Auffassung findet durch Gegenüberstellung der Versuche mit Boden a und Boden b (s. Nr. 6, 8, 10) Unterstützung —, zum andern liegt die Möglichkeit nahe, daß bei der Suspendierung der Erde trotz Vermeidung unnötigen Umschüttelns an den gröberen Partikeln haftende Sporen abgelöst wurden,

wodurch dann erst sekundär die letzte Fraktion so sporenreich geworden wäre.

Ob wir nun zur Erklärung des unterschiedlichen Tetanusgehaltes bei groben und feinen Partikeln einer von diesen Möglichkeiten den Vorzug geben oder noch für beide einen gemeinsamen Nenner suchen — fest steht, daß es physikalische Kräfte sein müssen, die die gefundenen Tatsachen bedingen.

Bevor aber auf die Versuche, die der Erklärung solcher physikalischen Zusammenhänge dienen, eingegangen wird, sei eine andere Frage angeschnitten, und zwar die Frage des Einflusses von Düngung auf das Tetanusvorkommen.

## Tetanusvorkommen und Fäkaltheorie.

Wenn hier zur Fäkaltheorie, der Abhängigkeit des Tetanusvorkommens von der Düngung, wobei auch die Frage eines Einflusses der Bodentemperatur eingeflochten sei, Stellung genommen werden soll, sei vorausgeschickt, daß auf dieses Thema nicht erschöpfend eingegangen werden kann. Dazu wäre eine monate-, ja jahrelange Verfolgung des Tetanusvorkommens unter den natürlichen Verhältnissen des freien Ackerfeldes notwendig. Es seien daher nur einige Erwägungen und Versuchsergebnisse zu diesem Fragenkomplex aufgeführt.

Löwe, der den Schlüssel für die ungleichmäßige geographische Verbreitung des Tetanus in geologischen und pedologischen Bedingtheiten suchen will, sagt kurz und bündig: „Die Fäkaltheorie der Entstehung des Tetanus wird abgelehnt." Schon seit jeher finden sich Anhänger und Gegner dieser Fäkaltheorie. Wenn Verneuil bereits 1889 überzeugt war, daß der Starrkrampfbazillus seinen Wohnsitz im Verdauungsapparat des Pferdes hat und nur durch dessen Exkremente verbreitet wird, glaubt Le Dantec einen festen Beweis gegen diese Theorie in der Tatsache zu haben, daß sich auf den Hebriden Tetanus findet, ohne daß es dort je Pferde gegeben hat (Lang). Sormani andererseits hält wieder die Darmpassage, die am besten die biologischen Ansprüche des Bazillus erfüllt, zu seiner Erhaltung für notwendig. Daß Pferde- und Rinderfäzes besonders häufig reich an Tetanuskeimen sind, ist bekannt und vielfältig erwiesen; dieses läßt tatsächlich auf eine besondere Bedeutung schließen, die die Tierpassage bzw. der tierische Darmtrakt für die Tetanusbazillen hat. Wenn Scheunemann bei Stuhluntersuchungen nicht tetanuskranker Menschen keine Tetanusbazillen nachweisen konnte, darf daraus noch nicht gefolgert werden, daß der menschliche Darm keine günstigen Bedingungen für die

Erhaltung des Tetanusbazillus bietet. Wurden doch bei einem Hundeversuch die Fäzes auch erst nach Eingabe tetanushaltigen Materials positiv. Daß die Tetanussporen auch im menschlichen Darm vorkommen können und virulent bleiben, geht aus zwei Fällen, von denen W o h l g e m u t h berichtet, hervor, die im Anschluß an Dünndarmresektionen bei Ileus einen Starrkrampf bekamen; in einem Fall gelang die Feststellung von Tetanusbazillen im Darminhalt (nach B o d e w i g).

Bei den Versuchen, den hohen Tetanusgehalt gedüngten Bodens zu erklären, tritt immer wieder die Annahme hervor, daß die Tetanusbazillen im Düngerhaufen, auf gedüngten und anderen Feldern günstige Bedingungen für eine Vermehrung finden (S o r m a n i , K o l l e - H e t s c h). Nun ist aber ebensowenig, wie ein Gegenbeweis gegen die Fäkaltheorie und die Vermehrung der Tetanusbazillen ausschließlich im Darm der Pflanzenfresser, ein Beweis dafür erbracht, daß der Tetanusbazillus sich auch außerhalb, also im Erdboden vermehrt. Eine solche ist in den tropischen Zonen nicht von der Hand zu weisen — etwa in den warmen Sümpfen der Hebriden, die, wie L a n g berichtet, sehr reich an Tetanuskeimen sind —, jedoch für unsere Zone, bei der die durchschnittliche Bodentemperatur weit unter der für ein Tetanuswachstum erforderlichen liegt, zum mindesten unwahrscheinlich. Erreicht doch in den gemäßigten Breiten der Boden nur für kurze Stunden und nur wenige Male im Jahr höhere Wärmegrade, wobei noch zu bedenken ist, daß in der gleichzeitig meist trockenen Erde die Tetanussporen eine weitere ungünstige Bedingung zu ihrer Auskeimung vorfinden (vgl. S. 16).

Zur Überprüfung dieser Überlegung, daß Abkühlung eine Vermehrung hemmen muß, wurde folgende Versuchsordnung angesetzt. Von sicher, aber nur wenig tetanushaltiger Erde wurden etwa je 3 g mit etwas sterilem Pferdedung und Wasser in zwei Kölbchen gebracht und mit paraffiniertem Wattepfropf abgeschlossen. Das eine Kölbchen wurde 18 Tage lang bei 37 ° bebrütet, während bei dem anderen dieselbe Zeitlang mit je etwa 12stündigen Intervallen zwischen Eisschrank und Brutschrank gewechselt wurde. Wenn auch auf diese Weise ein rhythmischer Temperaturwechsel auf das Bazillenwachstum einwirkte, waren doch die Bedingungen für dasselbe günstiger als unter den natürlichen Verhältnissen, bei denen die Sporen nie 12 Stunden lang ein Optimum von Bruttemperatur vorfinden. Trotzdem ist das Versuchsergebnis — Tabelle III — aufschlußreich.

Es zeigte sich nämlich bei dem dauerbebrüteten Boden (Versuch Nr. 17) eine viel höhere Tetanusinfektiosität, welche zu einer um ein Drittel verkürzten Inkubationszeit der mit diesem Boden geimpften gegenüber den mit unbebrüteter Erde infizierten Tiere führte. Für diesen großen Unterschied, der sich bei wiederholten Tier-

Tabelle III.

| Nr. | Erdproben | Impfmenge | Tod nach Stunden | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikroskop. |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | ohne Bebrütung (nied. Zimmertemp.) | 30 mg | 65—70 | + | + |
| 16 | Rhythmischer Wechsel der Temperatur | 30 | 1) 56<br>2) 66 | +<br>++ | ++<br>+ (+) |
| 17 | Dauerbebrütung | 30 | 1) 40<br>2) 43 | +<br>++ | +++<br>+++ |

versuchen bestätigte und trotz der kleinen Versuchsreihe nicht als ein zufälliger zu bezeichnen ist, können nicht die verschieden dispositionellen Faktoren der Tiere eine Erklärung bieten; dieselben sind für die Variationsbreite der Inkubationszeit um einige Stunden, wie sie die Parallelversuche aufweisen, verantwortlich zu machen. Für die ausschlaggebende Vermehrung der Sporen durch die vorausgegangene Bebrütung des Bodens spricht aber in erster Linie der mikroskopische Befund, der in der Impfprobe von dem bebrüteten Boden trotz kürzerer Auskeimungsmöglichkeit im geimpften Tier (durch früheren Tod) eine deutlich höhere Tetanusbazillenzahl erkennen läßt als in der — zudem länger im Tier verweilten — Probe von der unbebrüteten Erde. Diese Temperaturabhängigkeit der Tetanusvermehrung, wie sie hier gefunden wurde, findet durch die Mittelstellung des klinischen und mikroskopischen Tetanusbildes von Versuch Nr. 16, in welchem der Boden vor seiner Verimpfung einem wochenlangen Temperaturwechsel unterworfen war, eine weitere Bestätigung.

Vermuten wir also als Ergebnis dieser Versuchsreihe Nr. 15—17 eine hohe Temperaturempfindlichkeit des Tetanusbazillus, so finden wir dazu in der Angabe von v. Lingelheim, daß unter 14° weder Auskeimung noch Vermehrung zu beobachten ist (vgl. S. 14), eine Bestätigung.

So sind wir geneigt, eine Vermehrung von Tetanusbazillen im Boden unseres Klimas für ausgeschlossen zu halten, wofür noch der von Sormani ins Feld geführte Hinweis auf die anaerobe Lebensweise des Bazillus als Bekräftigung dienen mag. Aber auch bei vorhandener Anaerobiose im Boden, wie sie nasser Lehm oder Ton weithin gewährleistet, ist mit einer Oberflächenverbreitung auf Grund einer Oberflächenvermehrung nicht zu rechnen; zum mindesten ist letztere noch nie nachgewiesen worden.

Dagegen ist ein physikalischer, mechanischer Faktor für die Oberflächenverbreitung der Tetanuskeime seit jeher bekannt und fand bei Bodenuntersuchungen wiederholte Bestätigung. Es ist auffallend, wie dabei immer der natürliche Dünger die Hauptrolle spielt. So

findet Lang bei seinen Untersuchungen in der Schweiz Fäzes von Haustieren (Pferde, Kühe, Ziegen) oft, aber nicht regelmäßig und dauernd von Tetanussporen infiziert, so daß „Haustiere zur Verschleppung der Sporen beitragen können". Drescher berichtet auf Grund einer Arbeit über den Keimgehalt im Waldboden des Hochschwarzwaldes, daß Tetanuserreger nie in Schonungen vorkommen und im Hochwald nur dort, wo er an Viehweiden oder an bebautes Ackerland grenzt, zu finden sind. In jüngster Zeit hat R. Schmidt nach systematischen Bodenuntersuchungen im Gebiete des Kaiserstuhles festgestellt, daß Tetanuskeime in der Hauptsache dort vorkommen, wo der Mensch den Boden mit natürlichem Dünger kultiviert und wo eine Verschleppung der Keime aus diesen Böden durch Mensch oder Tier stattgefunden hat.

Einen weiteren Beweis für die für das Tetanusvorkommen entscheidende Vermehrung und Verbreitung im Sinne der Fäkaltheorie stellt das Ergebnis von Stichprobenuntersuchungen dar: von drei geologisch gleichen, nebeneinanderliegenden Weinberggrundsstücken wurde je eine Bodenprobe von analogen Stellen je neben einem Wurzelstock entnommen. Alle drei Grundstücke waren bebaut, das eine jedoch war ganz ungedüngt, das andere mit Kunstdünger allein und das dritte intensiv mit Kuhmist gedüngt. Der Tierversuch brachte die Ergebnisse der Tabelle IV.

Tabelle IV.

| Nr. | Weinbergboden | Tetanus nach Stunden | Tod nach Stunden | Klin. Tet. Befund |
|---|---|---|---|---|
| 18 | ungedüngt | 72 | 78 | + |
| 19 | nur künstlicher Dünger | 70 | 75 | + (+) |
| 20 | natürlicher und künstlicher Dünger | 33 | 36 | ++ |

Danach sind alle drei Proben tetanushaltig, jedoch mit einem auffallenden quantitativen Unterschied. Es ist offensichtlich, daß der bearbeitende Mensch für die Verbreitung des Tetanusbazillus in die ungedüngten Grundstücke hier verantwortlich zu machen ist (vgl. R. Schmidt oben), daß aber der starke Tetanusgehalt des dritten Feldes durch den natürlichen Dünger bedingt ist.

Aus diesen Bedingtheiten erhellt die Bedeutung, die intensive Landwirtschaft und das heißt die die Fäkaltheorie für das regional verschiedene Vorkommen des Tetanus haben muß. Die Düngung mit den Exkrementen führt zu einer ständigen Reinfektion des Bodens und steigert daher dessen Infektiosität um so mehr, je intensiver die Bewirtschaftung und je kleiner die Felderwirtschaft ist. So entstehen die berüchtigten Tetanusendemiegebiete, wie wir sie im Dithmarschen, in der Champagne und anderen Gebieten vor uns haben.

Nicht zuletzt erklärt sich aus diesen Unterschieden in der Intensität der landwirtschaftlichen Kultur die große Differenz in der Starrkrampferkrankungsziffer zwischen der West- und Ostfront des Weltkrieges; während die Westfront über landwirtschaftlich hochstehende und bestens ausgenützte Gebiete verlief, führte die Ostfront meist durch die dünnbesiedelten Steppengebiete Rußlands und Galiziens. Es sind also auch tetanusprophylaktisch gesehen wichtige Konsequenzen, die solchen Gegebenheiten entspringen.

Wenn, wie wir sahen, die Fäkaltheorie für die Erklärung der regionalen Tetanusdifferenzen herangezogen werden kann, so ist dieses jedoch nur bedingt richtig. Ergeben sich ja schon notwendige Einschränkungen aus der Tatsache, daß es intensiv bewirtschaftete Bezirke gibt, in denen noch kaum Starrkrampferkrankungen beobachtet worden sind, wie es etwa in Mittelfranken oder in Teilen Norddeutschlands der Fall ist. Solche Befunde schlagen geradezu der Fäkaltheorie ins Gesicht und erklären es, daß manche Autoren wie Löwe und Hinstorff rundweg zur Ablehnung der Fäkaltheorie überhaupt kommen. Das steht auf alle Fälle fest, daß die Fäkaltheorie große Lücken läßt und nicht imstande ist, das Problem des ungleichmäßigen Tetanusvorkommens zu lösen. Wir wollen darauf später zurückkommen.

Es soll jetzt vielmehr im Zusammenhang mit der natürlichen Düngung als wichtigem Faktor für die Verbreitung des Tetanusbazillus noch auf eine andere Bedeutung hingewiesen werden, die sie für den Grad der Bodeninfektiosität hat. Es ist eine bekannte Tatsache, daß Stallmist festen Boden lockert, losen Sandboden bindiger macht, daß also Dünger auch eine physikalische Veränderung des Bodens bewirkt (Keßler). Durch den Zerfall des natürlichen Dunges kommt als hier besonders beachtenswerter Vorgang eine Zunahme der feinsten Bodenbestandteile zustande. Und diese sind es, welche, was schon festgestellt und weiter unten noch zu erhärten ist, als besonders sporenhaltig oder „tetanigen" zu betrachten sind. Je mehr grobe Partikel also ein Boden enthält, desto weniger besteht die Gefahr einer Infektion mit Tetanus, umgekehrt nimmt der Grad der Bodeninfektiosität mit steigendem Gehalt an feinem Korn zu. Ein Lößboden muß daher als tetanusverdächtiger betrachtet werden; womit nicht ausgeschlossen werden kann, daß u. U. auch von Schotterboden eine Infektion zu akquirieren ist.

In den dem Versuche der Tabelle IV zugrunde liegenden Bodenproben aus einem Weinberg (Schilfsandstein und Mergel) kamen von Teilchengröße a (kleiner als 0,5 mm) auf 100 g trockene Erde (ohne Steine) 15 g (ungedüngter), 21 g (künstlich gedüngter und „verbesserter") bzw. 30 g (natürlich gedüngter Boden; beachte beim letzteren die Zunahme des feinen, „tetanigenen" Bodens als Er-

gebnis der Bearbeitung und Düngung!). Diesem geringen Gehalt an der Bodenkorngröße, die nach dem Bisherigen als besonders tetanushaltig zu gelten hat, kann das seltene Auftreten von Starrkrampf bei Verletzungen im Weinberg zu einem wesentlichen Teil zugeschrieben werden.

Bei der heute ausgedehnten Verwendung von Kunstdüngern in der Landwirtschaft liegt die Frage nahe, ob diesen künstlichen Düngemitteln irgendeine Bedeutung für den Tetanusbazillus im Boden zukommt. Auch hier könnte nur eine lange und unter natürlichen Verhältnissen angestellte Versuchsreihe ein endgültiges Ergebnis zutage fördern. Wir beschränkten uns darauf zu untersuchen, ob die Chemie der Düngemittel auf die Vermehrung und Virulenz der Tetanusbazillen einen hemmenden, fördernden oder wenigstens einen untereinander unterschiedlichen Einfluß hat.

Tabelle V.

| Nr. | Erde mit | Impfmenge mg | Tod nach Stunden | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikroskop. |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | Superphosphat 18% 12 mg/cm² | 50 | 49 | ++ | +++ |
| 22 | Kalisalz, 9 mg/cm² | 50 | 1) 36<br>2) 50 | ?<br>++ | ++<br>+++ |
| 23 | Schwefelsaurer Ammoniak 6 mg/cm² | 50 | 1) 74<br>2) 67 | ++<br>++ | +++<br>+++ |
| 24 | Kalksalpeter 9 mg/cm² | 50 | 1) 37<br>2) 35 | +<br>++ | +++<br>+++ |
| 25 | Düngerkalk 75 mg/cm² | 50 | 48 | ++ | +++ |
| 26 | steriler Pferdemist | 50 | 1) 45–50<br>2) 55 | ++<br>+ | +++<br>++ |
| 27 | Erde ohne Dünger | 50 | 1) 48<br>2) 44 | ?<br>++ | ++<br>+++ |
| 28 | Erde ohne Bebrütung | 50 | 50 | ++ | + |

Verwandt wurden bei dieser Versuchsreihe die fünf gebräuchlichsten Kunstdünger, und zwar je das Dreifache von der Menge, wie sie in der Landwirtschaft pro Flächeneinheit die übliche ist. In je 1 Reagensglas wurden 2 g trockene, tetanussporenhaltige Erde (wie bei Versuch Nr. 8) abgewogen, dazu das jeweilige Düngemittel und 5 ccm Wasser gegeben und das Ganze im Wasserbad 10 Minuten auf 80 ° erhitzt. Zur Erzielung der Sporulierung folgte die Bebrütung bei 37 ° über 15 Tage im Anaerobentopf nach Zeißler (s. Tabelle V).

Bei der Beurteilung der Ergebnisse dieser Versuchsreihe im Reagenzglas muß man sich hüten, sie auf die Verhältnisse in der Natur ohne weiteres zu übertragen. Fest steht, daß die verschiedenen che-

mischen Düngersubstanzen keinen sichtlichen Einfluß auf die Vermehrung und Virulenz in der allerdings kurzen Zeit der Einwirkung hatten; von einem hemmenden kann auf keinen Fall gesprochen werden. Ein Einfluß auf die tetanische Bodeninfektiosität durch die künstliche Düngung innerhalb kurzer Zeit ist auszuschließen; ob eine Virulenzänderung durch längere Einwirkung zustande kommt, kann nicht entschieden werden. Die Ergebnisse mit den kalksalzhaltigen Kunstdüngern können für die Beobachtung von Bullock und Cramer sprechen, daß Kalksalze das Angehen einer Tetanusinfektion zu begünstigen scheinen. Wenn sich im Versuch mit schwefelsaurem Ammoniak umgekehrt eine verlängerte Latenz zeigt, besteht doch klinisch und mikroskopisch den anderen Stoffen gegenüber kein Unterschied.

Als bemerkenswert zeigt der Versuch Nr. 26, daß natürlicher Dünger gegenüber den anderen chemischen Düngesubstanzen der Versuche Nr. 21—25 sich nicht in einer Einwirkung auf die Tetanusbazillen abweichend verhält, also nicht als ein besonders günstiger Nährboden in die Erscheinung tritt. Damit sind erst recht alle die Vermutungen anzuzweifeln, die die beste Voraussetzung für eine Vermehrung der Tetanuskeime im Erdboden in dem Vorhandensein von Mist oder sonstigem zerfallendem organischen Material sehen möchten (Sormani u. a.). Diese Hypothese ist abzulehnen, schon ungeachtet dessen, daß die fehlende oder höchstens sehr geringe und seltene Vermehrung von Tetanusbazillen im Freien bei unserem Klima — wie oben dargelegt — von vornherein den tatsächlichen Tetanusreichtum des natürlichen Düngers nicht bedingen kann. Vielmehr sehen wir in dem Versagen des Dunges als eines besonders günstigen Nährbodens in vitro einen weiteren Beweis dafür, daß der Kuh- und Pferdemist deshalb so reich an Tetanuskeimen ist, weil die Pflanzenfresser geradezu dafür prädestiniert sind, Tetanussporen aufzunehmen, falls solche in ihrer Umgebung überhaupt vorkommen und weil diese Sporen im „Brutschrank" des Magen-Darm-Kanals, insbesondere im Pansen und bei dem dort vorliegenden Milieu, die Bedingungen für eine Anreicherung vorfinden, eine Auffassung, wie sie durch Ramon und Pochon bestätigt wird. Beim Menschen und bei nicht wiederkäuenden Tieren ist dagegen die Darmpassage für eine Anreicherung im allgemeinen wahrscheinlich zu kurz, abgesehen davon, daß diese viel weniger Gelegenheit haben, mit der Nahrung Sporen aufzunehmen; so erklären sich die überwiegend negativen Befunde beim Menschen (Scheunemann). Eine Abtötung der Starrkrampferreger durch den sauren Magensaft aber — wie sie Pochon annimmt — besteht nach der Mitteilung von Bodewig auf Grund von Untersuchungen durch Buzello und Rahmel nicht; gehemmt wird nur das Sporulieren und Auswach-

sen von Tetanuskeimen, was andererseits durch Galle und Pankreassaft begünstigt wird. Wenn nach der Hypothese von Ramon, die Pochon glaubt bestätigt gefunden zu haben, das Tetanustoxin im Wiederkäuermagen durch die Gärungsvorgänge seiner Giftigkeit beraubt wird, bedeutet dies keine Beeinträchtigung der Vermehrung und Toxinbildung der Bazillen selbst. Da es andererseits feststeht, daß es atoxische Tetanusstämme und atoxische Varianten in Kulturen toxischer Stämme gibt (Fildes, Gilles, Eisler) und da sich nach Sormani eine zeitlich bedingte Abnahme der Virulenz von Tetanuserde finden kann, erhellt die Bedeutung eines fortlaufenden Nachschubes von neuen Tetanuskeimen für die Erhaltung der Infektiosität eines Bodens, wie sie durch die Tierpassage gewährleistet ist.

Aus diesen Verhältnissen ergibt sich die besondere Rolle, die die Fäkalien der Pflanzenfresser von jeher in der Tetanusfrage haben oder die — in weiterem Rahmen — die Landwirtschaft für die Kontinuität des Tetanusvorkommens in einem bestimmten Bezirk spielt.

Um auf die Versuche der Tabelle V zurückzukommen, so kann mit ihnen nicht ausgeschlossen werden, daß ein bestimmter natürlicher Untergrund mit einer besonderen chemischen Reaktion oder sonstigen Beeinflussung im Laufe der Zeit eine Virulenzänderung bedingen kann. In diesem Zusammenhang mag eine Versuchsanordnung von R. Schmidt erwähnt werden, mit der dieser vor kurzem eine eventuelle Umstimmung in der Virulenz durch einen bestimmten geologischen Untergrund studieren wollte: Eine große Anzahl geologisch verschiedener Erdproben wurde je mit der gleichen Menge einer Tetanuskultur geimpft und ein halbes Jahr später einzeln im Tierversuch geprüft. Die Unterschiede in der Latenz bis zum Tode des jeweiligen Tieres waren relativ gering und gaben keinen sicheren Anhalt zur Beurteilung einer unterschiedlichen Virulenzbeeinflussung, so daß der Autor selbst sich einer Meinungsäußerung zu diesem Virulenzproblem enthielt. Im übrigen kann an ein solches Problem schlecht mit Reagensglasversuchen herangegangen werden; darin ist Löwe, der einer Virulenzumstimmung das Wort redet, rechtzugeben.

Löwe geht noch weiter und hält für das verschiedene regionale Vorkommen des Tetanus nicht die Anwesenheit des Bazillus, sondern seine Virulenz für maßgeblich und sieht eine Virulenzhemmung durch die besondere Bodenbeschaffenheit in jenen Gebieten bedingt, wo keine Tetanusfälle beobachtet werden. Für diese Auffassung ist weder ein Beweis erbracht noch auch ein Gegenbeweis. Wenn nun aber Löwe eine Virulenzumstimmung in der einen Richtung postuliert, ist demgegenüber nicht von der Hand zu weisen, daß eine solche auch wieder in der umgekehrten Richtung reversibel verlaufen und

somit aus einer Avirulenz durch virulenzbegünstigende Momente (Mischinfektion, Bruttemperatur, Änderung des Untergrundes) wieder Pathogenität samt Folgen resultieren könnte, ebenso wie umgekehrt hoch toxische Tetanusstämme zeitweilig jede Toxinbildung vermissen lassen (E i s l e r).

Die Rolle einer Virulenzverschiebung bei dem Zustandekommen der Verteilungsdifferenzen im Tetanusvorkommen läßt sich noch nicht ergründen und übersehen. Die Fäkaltheorie vermag weithin eine Erklärung für jene Unterschiede zu geben, doch versagt sie in vielen Fällen. Für die Verbreitung und Vermehrung der Tetanuskeime ist sie jedoch von entscheidender Bedeutung.

Im folgenden Abschnitt soll nun die Erklärung für den verschiedenen Tetanussporengehalt bei groben und feinen Erdpartikeln versucht werden. Wir werden in diesen Versuchsergebnissen eine Möglichkeit finden, die Lücken, die die Fäkaltheorie innerhalb des Problems des verschiedenen Tetanusvorkommens läßt, zu füllen.

## Sickerversuche.

L a n g fand im Seeschlamm meist stark tetanuspositive Resultate; die negativen Fälle führte er darauf zurück, daß es sich um grobkörnigen Sand handelte, an dem die Bakterien schlecht haften bleiben.

R. S c h m i d t fand auf dem Grund von Altwässern neben Gasbrand auch Tetanusbazillen.

Von tetanushaltigem Humusboden getrennter Sand enthält weniger Tetanussporen wie der Humus in toto. Vgl. Tabelle I und II.

Diese Tatsachen veranlaßten uns zur Anstellung von Sickerversuchen, deren Prinzip folgendes ist: eine Säule Erde oder Sand, die tetanushaltig oder erst sekundär infiziert worden ist, wird mit einer bestimmten Menge sterilen Leitungswassers beschickt. Nach der Durchsickerung wird an Hand von Tierversuchen und mikroskopischer Betrachtung eines Ausstriches von dem verimpften Material der Tetanusgehalt des Versuchsbodens auf Veränderungen innerhalb der Erdsäule untersucht.

V o r v e r s u c h (s. Tabelle VI):

Zu dem Vorversuch (Tabelle VI) wurde von tetanushaltigem Gartenboden (derselbe wie bei Versuch Nr. 10) eine Erdprobe mit dem Knoopschen Siebsatz in die beiden Partikelgrößen a (kleiner als 0,5 mm) und b (0,5—1 mm) ausgesiebt. In zwei Glasröhren mit der lichten Weite von 8 mm wurden 5 g bzw. 10 g von Boden a (s. Ver-

Tabelle VI.

| Nr. | Röhren-durchm. 8 mm | beschickte Wasser-menge | Impfmenge aus der Erdsäule | Tod nach Std. | Tetanusbefd. klin. | Tetanusbefd. mikroskop. | besondere Beobachtungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 1. Röhre 5 g Boden a | 100ccm/cm² | 30 mg v. oben | 16 | + | + | kein eindeutiger Tetan., Mischinf. |
| | | | 30 mg v. unten | 30 | + | | |
| 30 | 2. Röhre 10 g Boden a | 50ccm/cm² | 30 mg v. oben[1]) | 17 | + | + | Mischinfekt. |
| | | | 30 mg v. Mitte | 21 | + | + | |
| | | | 30 mg v. unten | 16 | + | + | |
| 31 | 3. Röhre 5 g Boden b | 200ccm/cm² | 30 mg v. oben | 16 | kein Tetanus-befund | | Misch-infektion |
| | | | 30 mg v. unten | 20 | ++ | Kultur + | |

such Nr. 29 und 30), in eine dritte 5 g von Boden b (s. Nr. 31) gegeben; die Röhren waren vertikal aufgestellt und nach unten durch einen losen Wattepfropf verschlossen. Von oben wurden sie mit Wasser in der Menge, wie es nach unten durchsickerte, beschickt.

Die Versuchsbedingungen lagen hier ungünstig, die Enge der Röhren verhinderte eine einwandfreie Durchsickerung, an der Oberfläche der Erdsäulen bildete sich eine starke Verschlämmung, welche ihrerseits die Versuchsergebnisse trübte (Zusammenballung der Mischflora, ungenügende Wasserdurchlässigkeit). Doch ist auffallend, wie in der dritten Röhre (größere Sickerwassermenge, größere Bodenpartikel) die Tetanusinfektiosität nach unten zunimmt, indem bei diesem dritten Versuch (Nr. 31) nach der Wasserbeschickung der Tetanusbefund in der Röhre oben negativ, unten dagegen stark positiv ist.

Hauptversuche:

Für die weiteren Versuche wurden 30 cm lange, sterile Glasröhren mit einer lichten Weite von 16 mm verwendet. Nach unten waren diese zu einem kurzen Trichter ausgezogen, daran eine 2 cm lange und 8 mm weite Glasröhre angeschmolzen. Auf diese Weise konnte die Röhre nach unten mit einem Wattepfropf abgeschlossen werden, wobei zugleich diese Watte das Sickerwasser abfiltrierte und so ausgeschwemmte Sporen abfing, welche durch Einpflanzung des Wattepfropfes in ein Versuchstier zur Anreicherung und zum Nachweis gebracht wurden. Die verwendeten Bodenproben waren z. T. im Autoklaven sterilisiert worden; zur Beimpfung dieses Bodens diente eine tetanusbazillen- und sporenhaltige frisch hergestellte Bouillonkultur, von der 0,1 ccm in 18 Stunden bei der Maus tödlichen Tetanus

1) Die Impfprobe aus der Mitte der Erdsäule wurde durch Einführen eines sterilen Glasröhrchens entnommen.

hervorrief (s. Tabelle I). Um eine Verschlämmung zu verhindern, wurde über die Bodensäule jeweils ein Wattebausch gesetzt (s. Tabelle VII).

Tabelle VII.

| Nr. | Röhrendurchm. 16 mm | Bodenmenge | beimpft m. Tet.-kultur | Sickerwassermenge | Impfmaterial f. Tiervers. | Tod nach Std. | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikroskop. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | Tetanushaltiger Humussand Gr. b | 10 ccm | — | 50 | Wattepfropf 10 Min. auf 80° | 49 | + | + |
| 33 | steriler Lößbod. Größe a | 5 ccm | 0,5 ccm | 150 | Wattepfropf | 50 | + | (+) |
| 34 | steril. Lößboden (a) + steriler grober Sand | 30 ccm | 0,5 ccm | 200 | 100 mg v. oben<br>100 mg v. unten | 21<br>45 | ++<br>+ | ++<br>+ |
| 35 | steriler feiner Sand Größe a | 30 ccm | 0,5 ccm | 200 | 100 mg v. oben<br>100 mg. v. Mitte<br>100 mg v. unten<br>Wattepfropf | 24,5<br>30<br>80<br>90 getöt. | ?<br>?<br>+<br>++ | —<br>—<br>++<br>+++ |
| 36 | steriler grober Sand | 30 ccm | 0,5 ccm | 200 | 100 mg v. oben<br>100 mg v. Mitte<br>100 mg v. unten<br>Wattepfropf | 15<br>15<br>26<br>16 | +<br>++<br><br>++ | ?<br>?<br>+<br>++ |

Diese Versuchsreihe weist deutlich darauf hin, daß eine erhebliche Ausschwemmung von Tetanuskeimen durch Sickerwasser stattfindet. Bemerkenswert ist, daß der Lößboden (bei Nr. 34 zur besseren Wasserdurchlässigkeit mit der gleichen Menge groben Sandes gemischt; bei Nr. 33 kleine Erdmenge) sehr viel weniger eine Keimverschiebung durch das Wasser zuläßt. Um so auffälliger ist diese beim Sandboden, wie aus Versuch Nr. 35 und 36 hervorgeht.

Den Maßstab einer quantitativen Keimverschiebung bildeten die Zeitspanne bis zum Eintritt des Tetanustodes, die Stärke der Tetanussymptome, die Größe des mikroskopischen Befundes an Tetanusbazillen und vor allem die Tatsache, daß Tetanuskeime in den vorher — vor der Beschickung mit Wasser — sterilen, die Erdsäule nach unten abschließenden Wattepfropf eingewandert waren, was wiederum in seinem quantitativen Ausmaß durch Tierversuch und mikroskopische Untersuchung festzulegen war.

Daß auch Tiere — wie in Versuch Nr. 35 — eingingen, ohne daß bei ihnen klinisch Tetanussymptome und mikroskopisch Tetanusbazillen nachzuweisen waren, erklärt sich daraus, daß die zur Beimpfung der sterilen Bodensäulen verwendete tetanushaltige Kultur noch andere Keime enthielt, welche dem Ausgangsmaterial der Kultur, in diesem Falle der Erde des Versuches Nr. 10, entstammten.

Es wurden absichtlich keine reinen Tetanuskulturen benützt, weil auch unter den natürlichen Verhältnissen nie eine Infektion mit Starrkrampferregern allein erfolgt.

Tabelle VIII.

| Nr. | je 10 ccm | Sickerwassermenge | Impfmaterial f. Tierversuche | Tod nach Std. | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikroskopisch (eingeimpft. Mater.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | steriler grob. Flußsand | 200 | 120 mg v. oben | 30 | ++ | + mit wenig Sporen |
| | | | Wattepfropf | 18 | ++ | +++ massenhaft Sporen |
| | + 0,3 ccm Tetanuskultur | + 300 ccm | 100 mg v. oben | 24 | + | keine freien Sporen nur Stäbchen |
| | | | 100 mg tief. entnommen | 78 | ++ | nur Stäbchen |
| 38 | steril. mittelfeiner Sand | 200 | 100 mg v. oben | lebt | kein Tetan. | |
| | + | | 150 mg v. oben | lebt | kein Tetan. | |
| | 0,3 ccm Tetanusbouillon | | Wattepfropf | 30 | ++ | ++ reichlich Sporen |
| 39 | steriler feinster Sand | 200 | 100 mg v. oben | 18 | + | + |
| | + | + | Wattepfropf | 17 | ++ | +++ massenhaft Sporen |
| | 0,3 ccm Bouillon | 300 | 100 mg v. oben | 22,5 | (+) | sehr wenig |
| | | + 300 | 100 mg v. oben | lebt | kein Tetan. | |
| | | | Wattepfropf | 19 | ++ | ++ reichlich Sporen |
| 40 | steriler Löß gesiebt Größe c | 200 | Wattepfropf | lebt | kein Tetan. | |
| | + | + | 50 mg v. oben | 22 | ++ | ++ Sporen aus der Kultur stammend |
| | 0,3 ccm Bouillon | 300 | 50 mg v. oben | 24 | + | ++ |

Bei der Versuchsreihe der Tabelle VIII, bei welcher eine reichlich tetanusbazillen- und -sporenhaltige Kultur zur Verfügung stand und die Versuchstechnik ausprobiert war, wurden die Ergebnisse noch deutlicher. Um dies zu unterstreichen, sei erwähnt, daß nach der Beimpfung der sterilen Bodensäule an ihrer Oberfläche mit der Tetanusbouillon abgewartet wurde, bis diese und damit die Tetanussporen angetrocknet waren. Auf diese Weise dürften weitgehendst die Verhältnisse, wie sie in der Natur vorliegen, gewahrt worden sein. Der über dem Versuchsboden liegende Wattebausch gewährleistete eine ausschließliche Wasserversickerung und ließ damit eine direkte Auswaschung verhindern.

Wie sich aus den Versuchen ergab, trat im Sandboden schon mit einer Wassermenge von 200 ccm, was einer Niederschlagsmenge von

100 ccm pro cm² entspricht, eine erhebliche Mobilisation der Sporen ein, d. h. diese wurden vom Sickerwasser ausgeschwemmt. Bei der mittleren Sandkorngröße (Nr. 38) genügte diese Wassermenge bereits, um der stark infizierten Oberfläche die Tetanusinfektiosität zu nehmen. Bei der feinsten Sandform (Nr. 39) waren ebenfalls bald alle Keime von oben nach unten gewandert. Daß dies bei dem groben Sand nicht vollständig eintrat, liegt wahrscheinlich in den Versuchsbedingungen des relativ engen Rohres begründet.

Ganz im Gegensatz zu diesen Verhältnissen im Sandboden läßt der Lößboden die Keime nicht oder nur in sehr geringem Maße durchtreten (s. Nr. 33, 34 und 40), was daraus hervorgeht, daß die alten Sporen, wie sie der Kultur entstammten, sich nach der Berieselung nur an der Stelle der Beimpfung zeigten und sich nicht — wie es beim Sandboden der Fall war — an dem Wattefilter nachweisen ließen (Nr. 40). Daraus ist zu schließen, daß der Boden um so eher eine Sporenverschiebung zuläßt, je größer seine einzelnen Partikeln und Durchlässigkeit für Wasser sind. Der Prüfung dieser Feststellung diente folgende

Versuchsordnung: Eine Glasröhre mit der lichten Weite von 46 mm und einer Länge von 25 cm wurde an ihrem unteren Ende mit einem Gazestück, das, straff gespannt und mit Leukoplast an der Röhrenwand befestigt, einen wasserdurchlässigen Boden bildete, versehen, sterilisiert und in ein Stativ eingespannt. Als Versuchsboden diente steriler Sand verschiedener Partikelgröße; die einzelnen Sorten wurden getrennt mit einer Schichtdicke von je 2 cm in der Röhre übereinandergeschichtet, und zwar von unten nach oben in folgender Reihenfolge:

„Dünensand“ (feinster Sand, kleiner als 0,5 mm),
„Grobsand“ (1—2 mm),
„Dünensand“,
„Flußsand“ (0,5—1 mm),
feiner Kies.

Dann wurde letzterer als oberste Bodenschicht in der Mitte mit 0,8 ccm einer Tetanusbouillon (s. Nr. 41) beimpft und deren Antrocknung vor der Berieselung mit sterilem Leitungswasser wieder abgewartet. Nach einer Sickermenge von 500 und 1000 ccm wurde je eine 8 mm weite Glasröhre vorsichtig in der Mitte der Sandsäule durch die vier oberen Schichten eingebohrt und bis zum Abschluß des Versuches dort belassen, um auf diese Weise fraktionierte Bodenproben zu gewinnen, die einzeln durch Tierversuch — Verimpfung von 100—150 mg trockenen Materials in eine Rückenhauttasche einer Maus — und anschließende mikroskopische Betrachtung des

Impfgutes auf ihren Gehalt an Tetanuskeimen untersucht wurden und die den Grad einer Abhängigkeit der Sporenwanderung von der Sickermenge erkennen ließen (s. Tabelle X). Die drei Portionen des Sickerwasser (je 500 ccm) wurden nach dem Durchlaufen der Bodensäule getrennt durch einen Wattepfropf durchfiltriert, um sie ebenfalls im Tierversuch auf ihren jeweiligen Gehalt an ausgeschwemmten Sporen zu untersuchen (s. Tabelle IX).

Tabelle IX.

| Nr. | Untersuchungsgut | Impfmaterial f. Tiervers. | Tod nach | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikrosk. | besondere Beobachtung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | Tetanusbazillen auf | etwas Watte | 18 Std. | + (+) | +++ | Sporenhaltige Mischflora dabei |
| 42 | 1. Sickerwasser | Filterwatte | 8 Tage | + | + | |
| 43 | 2. Sickerwasser | Filterwatte | 4 Tage | ++ | ++ | auch andere Sporen + |
| 44 | 3. Sickerwasser | ½ Filterwatte | 4½ Tag | ++(+) | ++ | andere Sporen + (+) |

Bei der Bewertung der einzelnen Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß bei einem derartigen Versuch Fehlerquellen nicht auszuschließen sind; hier im besonderen insofern, als nur schwer nach jedem Wasserstoß immer genau analoge Proben aus den entsprechenden Sandschichten gewonnen werden konnten. Das Ergebnis ist jedoch weitgehend einheitlich.

Versuch Nr. 42 zeigt, daß schon durch den ersten Wasserstoß, der einer Niederschlagsmenge von 31 ccm cm² entspricht, eine Ausschwemmung von Sporen durch die ganze Sandsäule hindurch erfolgte, die mit steigender Sickermenge zunahm. Die Kiesschicht umgekehrt war schon nach den ersten 500 ccm Wasser an der Stelle tetanusfrei (Nr. 46), an der sie mit der Sporenkultur beimpft worden war.

Parallel mit der Wanderung der Sporen wurden die einzelnen Bodenschichten von diesen infiziert, und zwar in gleichmäßiger Reihenfolge von oben nach unten. Ebenso wurden die Schichten in derselben Reihenfolge um so ärmer an Sporen, je mehr Wasser sie durchsickert hatte. So wurde die zweitoberste Schicht nach der dritten Berieselung frei von einer Tetanusinfektiosität, was um so bemerkenswerter ist, als bei der Beimpfung bereits ein Teil der sporenreichen Bouillon bis in diese Schicht durchgesickert und dort angetrocknet war.

Während also Tetanussporen sich leicht mobilisieren lassen, scheint dies bei den kleineren Sporen der Mischflora, die in der benützten Kultur neben Tetanussporen vorhanden war, weniger der Fall zu

Tabelle X. Fraktionierte Berieselung.

| Nr. | Sandschichten je 2 cm | Sickerwasser ccm | Impfmenge mg | Tod nach Std. | Tetanusbefund klin. | Tetanusbefund mikrosk. | Beobachtungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | Beimpft. Kies Testversuch | — | 150 | 60 | + | ++ | |
| 46 | Kiesschicht | 500 | 150 | lebt | kein Tetanus | | |
| 47 | Flußsandschicht | 500 | 150 | 35 | + — | ++ (+) | Mischflorasporen ++ |
| | | 1000 | 150 | 38 | ? s. Nr. 50 | + (+) | „ +++ |
| | | 1500 | 150 | lebt | kein Tetanus | | |
| | | | 150[1]) | 25 | kein Tetanus | | Massenhaft Stäbchen v. Mischflora (Rauschbrand ?) |
| 48 | Dünensandschicht | 500 | 100 | 48 | + | + (+) | Mischflorasporen (+) |
| | | 1000 | 100 | 6 Tg. | ++ | ++ | „ (+) |
| | | | 150 | 3,5 Tg. | + (+) | ++++ | Sporenreichtum durch Anfeuchtung des Impfmaterials |
| | | 1500 | 100 | 9,5 Tg. | ++ | + (+) | |
| | | | 150 | 55 Std. | + | + | |
| 49 | Grobsandschicht | 500 | 150 | 5,5 Tg. | + (+) | + | |
| | | 1000 | 150 | 7,5 Tg. | + | + (+) | Mischflorasporen (+) |
| | | 1500 | 150 | 10 Tg. | + | (+) | |
| 50 | Dünensand, unterste Schicht | 1500 | 100 | 4,5 Tg. | + | + (+) | Mischflorasporen + |
| | | | 100 | 7 Tg. | ? | + | |
| | | | 150 | 65 Std. | +++ | ++ | Bei Berühren des Tieres dieses in stärkst. Tet. verfallend, vorher uncharakteristisch |

sein, wie aus Versuch Nr. 47 hervorgeht. Man könnte dieses Verhalten so erklären, daß die kleinen, länglichen Sporen dieser anderen Keime (Rauschbrand?) fester an den Erdpartikeln haften und sich weniger leicht vom Wasser ablösen lassen, als dies bei den größeren, runden Tetanussporen der Fall ist. Wenn aber die ersteren abgelöst sind, scheinen sie mehr der Wasserkraft zu folgen und sich weniger leicht als die Tetanussporen am feinkörnigeren Boden wieder abfangen zu lassen, was daraus zu folgern ist, daß die unteren Schichten fast frei von solchen Nicht-Tetanussporen sind (s. Nr. 48—50), obwohl diese durch sie hindurchgegangen sind und sich im Sickerwasser in größeren Mengen nachweisen lassen (s. Nr. 43, 44).

1) Impfmaterial war nach Einimpfung stark angefeuchtet worden. Da sämtliche Mischflorasporen (Rauschbrand?) ausgewachsen waren im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen mit trockenem Impfgut, scheinen diese zum Angehen eine Infektion mehr als die Tetanusbazillen wäßriges Milieu zu beanspruchen. Damit wäre in diesem Fall der Tod zu erklären.

Um auf den Tetanusgehalt der einzelnen Schichten zurückzukommen, so ist dafür, wie erwähnt, die Menge des Sickerwassers von Bedeutung; doch spielt noch ein zweiter Faktor eine Rolle, die Korngröße des betreffenden Bodens. Bei den Versuchen Nr. 48, 49 und 50 zeigen die zwei Schichten feinsten Sandes eine erheblich größere Tetanusinfektiosität als die dazwischenliegende Grobsandschicht, obwohl durch alle drei Schichten dieselbe Wassermenge durchgesickert ist und obwohl die Sporen der untersten Schicht die Grobsandschicht passiert hatten. Wenn es also nicht nur einleuchtend, sondern sicher ist, daß grobkörniger Boden die Sporen der Wirkung des sickernden Wassers überläßt, so kommt umgekehrt dem feinkörnigen Boden eine Fähigkeit zu, die Sporen zurückzuhalten. Es handelt sich um die Adsorbtionskraft, die bekanntlich um so größer ist, je größer die innere Oberfläche eines Körpers bzw. je größer die spezifische Oberfläche [1]) der einzelnen Partikeln etwa eines Bodens, d. h. je feinkörniger und toniger ein Boden ist (K e ß l e r).

Der adsorbierenden Kraft der Bodenteilchen auf irgendwelche andere Partikel steht jedoch die Wirkung strömenden Sickerwassers entgegen, welche um so größer ist, je gröber die Bodenstruktur und je geringer damit die Adsorbtionskraft, d. h. je größer die Sickergeschwindigkeit ist. Denn letztere hängt ihrerseits von der spezifischen Oberfläche ab, indem sie umgekehrt proportional der spezifischen Oberfläche und proportional der Durchlässigkeitsziffer (Durchlässigkeit in cm/Sekunde) ist (B l a n c k). Während somit bei grobkörnigem Boden weitgehend eine Parallelität zwischen Ausschwemmung korpuskulärer Elemente und Wasserdurchlässigkeit besteht, verschiebt sich dieses Verhältnis um so mehr, je feiner die Bodenstruktur ist. Nämlich insofern, als bei einem gewissen Grad von Partikelgröße nur noch eine Wasserdurchlässigkeit zu beobachten ist, während Korpuskeln, also etwa Sporen, zurückgehalten werden (s. Versuch Nr. 40), bis schließlich bei weiterer Abnahme der Bodenkorngröße auch das Wasserdurchlässigkeitsvermögen aufgehoben ist (Tone).

Da also die spezifische Oberfläche und die Durchlässigkeitsziffer eines Bodens eine entscheidende Bedeutung für Ausschwemmung oder Retention von Sporen haben, sind sie für den verschiedenen Reichtum ursprünglich gleich viel Tetanussporen haltiger Böden verantwortlich zu machen. Dieser ihrer Wichtigkeit wegen seien die Durchlässigkeitsziffern und die Werte der spezifischen Oberfläche für einige Bodenarten aufgeführt; sie sind dem 6. Band des „Handbuches der Bodenlehre" von B l a n c k entnommen:

1) Die spezifische Oberfläche ist nach D e n s c h (B l a n c k, Bodenlehre) die Zahl, welche angibt, wievielmal so groß die Oberfläche von Bodenpartikeln ist wie jene der gleichen Gewichtsmenge Böden von 1 mm Korndurchmesser.

| Bodenarten | spezif. Oberfläche | Durchlässigkeitsziffer cm/sek. |
|---|---|---|
| Kiese | 1 | 0,1 |
| Sande | 1—20 | $0{,}1 - 5 \times 10^{-4}$ |
| lehmige Sande | 20—300 | $5 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-6}$ |
| schwere Lehme und Tone | 4000 | $1 \times 10^{-8}$ |

Es läßt sich freilich nun nicht ein ganz bestimmter Wert etwa für die spezifische Oberfläche angeben, von dem ab eine Sporenverarmung auszuschließen ist. Es spielen hierbei Faktoren mit, die in ihrer Größe nicht zu übersehen sind, etwa die Auswaschung tetanushaltiger Bodenteilchen selbst oder ein mehr oder weniger großer Gehalt an groben Partikeln bzw. an chemischen Substanzen (Blanck, auch Düngemittel [Keßler]), welche das Porenvolumen und die Wasserdurchlässigkeit verändern und somit sekundär auch den Gehalt an bodenfremden Bestandteilen beeinflussen. Bei Berücksichtigung solcher Einschränkungen läßt sich aber sagen, daß die Verarmung eines Bodens an Tetanussporen um so weniger zu erwarten ist, je feinkörniger, d. h. je toniger der betreffende Boden ist. Als Hinweis mögen hierfür die Versuche Nr. 3 und 4 S. 19 dienen, die als Stichprobe von den Verhältnissen auf freiem Feld die genannten Erwägungen prüfen sollten. Wenn der eine, seit Jahren nicht mehr gedüngte Boden (Nr. 3) etwa denselben Tetanussporengehalt wie der gleiche frischgedüngte Boden (Nr. 4) aufzuweisen hat, sehen wir den Grund dafür in der fehlenden Ausschwemmung infolge der Feinkornstruktur des betreffenden Bodens (schwerer Lehmboden). An der Tatsache einer Erhaltung der Toxizität von Tetanussporen auch nach jahrelanger Latenz ist ja ohnehin nach vielfältiger Erfahrung nicht zu zweifeln.

Als Ergebnis können wir aus unseren Untersuchungen folgende Schlußfolgerung ziehen:

Ein Boden wird um so stärker und schneller tetanusarm, je gröber seine durchschnittliche Kornstruktur ist.

Ein Boden ist um so tetanusverdächtiger, je feiner seine Kornstruktur ist.

Ursache dafür ist das verschiedene Verhalten des Sickerwassers bzw. die wechselnde Adsorptionskraft in den verschiedenen Bodenarten. Diese hydrophysikalische Abhängigkeit der Sporenwanderung von Wasser und Teilchengröße in der experimentellen Versuchsanordnung führt uns im folgenden Abschnitt zu der hydro-pedologischen Theorie als einem neben der Fäkaltheorie möglichen Weg zur Erklärung der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens.

## Die hydro-pedologische Theorie in der Erklärung der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens.

Nachdem obige Versuche darauf hindeuten, daß die Tetanussporen im Boden unter der Einwirkung des Wassers eine Ausschwemmung erfahren, sofern der betreffende Boden grobkörnig genug ist, liegt es nahe, in der physikalischen Bodenform den Schlüssel zu sehen, der einen Weg in das Problem der besonderen geographischen Verhältnisse des klinischen und bakteriologischen Tetanusvorkommens öffnet. In Ableitung der experimentellen Befunde kann man schließen, daß Landstriche, denen Sandboden zugrunde liegt, tetanusarm sein müßten, während der Starrkrampf sich vorzugsweise in Löß- und Lehmgebieten zeigen dürfte. Diese hydro-pedologische Theorie hat den Vorzug, daß sie eine einfache Beweismöglichkeit in dem Vergleich von Tetanusstatistik und pedologischem Oberflächenrelief vorfinden läßt.

Einschränkend muß vorausgeschickt werden, daß diese klaren Unterschiede von tetanusarmen und tetanusreichen Bezirken nur als sehr relative zu erwarten sein können, wie von vornherein der moderne und dichte Verkehr schließen läßt. Sind doch heute wenigstens die wichtigeren Verkehrswege und ihre nähere Umgebung auch in sonst tetanusarmen Bezirken längst mit Tetanussporen infiziert und werden fortlaufend weiterinfiziert. Somit läßt bei Verkehrsverletzungen nach Zeißler die Herkunft des Wundschmutzes und die geographische Lage des Ortes der Verletzungen bzw. die dort bis dahin beobachtete Seltenheit von Starrkrampffällen „im Einzelfall eine Tetanusinfektion meist nicht mit mehr als sehr fragwürdiger Wahrscheinlichkeit ausschließen". Nach H. Schmidt hat überhaupt jede Verkehrsverletzung als tetanusinfiziert zu gelten. Erwähnt sei auch in diesem Zusammenhang, daß auf Grund der vielen positiven Befunde, die Gilles bei Straßenstaubuntersuchungen gewonnen hat, die prophylaktische Tetanusserumanwendung bei allen Straßenverletzungen angezeigt ist (Gilles). Hübner hält es aus diesen verkehrstechnischen Gesichtspunkten sogar für „ungerechtfertigt", aus geographischen Unterschieden eine Richtschnur für das Vorgehen im Sinne einer Anwendung oder Nichtanwendung der Serumprophylaxe zu entnehmen, eine Stellungnahme, wie sie Löwe, Hinstorff u. a. in dieser apodiktischen Weise nicht teilen (vgl. auch Einleitung).

Die Verwischung der Grenzen von tetanusarmen und -reichen Bezirken erschwert zweifellos ihrerseits das Problem der Prophylaxe und der regionalen Verschiedenheit an Tetanusfällen überhaupt. Doch ist letztere eine erwiesene Tatsache, von der die Verkehrswege

nicht mehr als eine Ausnahme bedeuten, was bei der Prophylaxe zu berücksichtigen ist. Ebenso trüben die große Straßeninfektiosität und die Häufigkeit von Verkehrsunfällen die statistischen Erhebungen an Starrkrampffällen in einem bestimmten Gebiet und können in diesem eine größere Tetanusverdächtigkeit vortäuschen, als seinem eigentlichen Bodengehalt entspricht. So lassen prozentuale Ergebniszahlen von Starrkrampferkrankungen in einzelnen Gebieten, wie sie Hinstorff für die innerdeutschen Länder berechnete, keinen Rückschluß auf die eigentliche Tetanusverdächtigkeit der betreffenden Bezirke zu und bedeuten auch keine Hilfe in dem Problem der regionalen Tetanusdifferenzen.

Legen wir nun in Auswertung unserer Versuchsergebnisse die Tetanusstatistik von 1928/29 für Deutschland (Löwe) zugrunde, um auf einen Zusammenhang zwischen Wasserdurchlässigkeit bzw. Grobkörnigkeit des Bodens und Armut oder Fehlen von Tetanusfällen in großem Maßstab zu untersuchen, so stellen wir eine auffallende Kongruenz dieser Art fest, indem die sandigen Gebiete Bayerns, Norddeutschlands, Schlesiens und anderer Teile seltener oder so gut wie nicht Starrkrampferkrankungen beobachten lassen. Umgekehrt zeigt jene Tetanusstatistik — abgesehen von der aus den obigen Gründen hierfür nicht zu verwertenden Tetanushäufigkeit in Industrie- und Verkehrszentren —, daß Starrkrampffälle vorzugsweise dort verzeichnet sind, wo die bodenkundliche Karte Löß-, Lehm- oder Tonboden aufweist (vgl. die Skizzen der nordwestdeutschen Tiefebene und Schlesiens S. 40). Dieser Gegensatz wird noch auffallender, wenn man sich klarmacht, daß durch die in den tetanusreichen, d. i. in den schwerbödigen Gebieten geübte Prophylaxe die Zahl an Tetanusfällen bereits reduziert ist, während die Seltenheit von Starrkrampferkrankungen in Landstrichen mit leichten Böden durch die Nichtanwendung der Serumprophylaxe (s. Rundfrage von Hinstorff S. 10) noch unterstrichen wird.

Zur Abgrenzung muß erwähnt werden, daß es nicht auf die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens als Kriterium für seine Tetanusverdächtigkeit in erster Linie ankommt, sondern auf die Feinheit seiner Einzelkornstruktur. Vor einer solchen Überbewertung des Versickerungsquotienten kann das Beispiel des schwäbisch-fränkischen Jura hüten, der bei seinem Kalkgehalt eine außerordentlich hohe Versickerungsgröße aufzuweisen hat, dessen tonige Bodenform es jedoch ist, die demgegenüber die vorliegende Tetanusinfektiosität aufrecht erhält. Wie hoch die letztere ist, zeigt einmal der starke positive Ausfall des Versuches Nr. 2, dem eine Probe von einem beliebigen Albacker zugrunde liegt, und zum andern die bekannte Tetanushäufigkeit um Münsingen, welche in ihrem Ausmaß ihre besondere Erklärung in den Gegebenheiten des dortigen Exerzierplatzes und

in dem Vorhandensein von Gestüten findet. Daß umgekehrt im Sandboden die Tetanusverarmung der Sickermenge parallel geht, ist bereits genügend betont worden.

schraffierte Flächen = Sandboden (in der oberen Skizze teilweise auch Moorboden).
weiße Flächen = schwere Böden: Löß, Lehm, Ton.
Jeder Punkt entspricht einem Tetanusfall aus den Jahren 1928/29 (nach Tetanusstatistik von Löwe).

Wie erwähnt sucht Löwe häufiges Tetanusvorkommen auf einen bestimmten Untergrund und dessen Einflüsse im Sinne einer qualitativen Veränderung des Tetanusbazillus zu beziehen. Aber schon

Hinstorff mußte geologisch-chemische Zusammenhänge ablehnen (s. S. 10). Denn es läßt sich mit dieser Theorie nicht erklären, warum einmal der Schwemmlandgürtel der Nordsee, dann der Kreideuntergrund Rügens und etwa das Muschelkalk- und Keupergebiet von Württemberg so tetanusreich sind, obwohl der geologische oder chemische Untergrund jeweils ein ganz verschiedener ist. Diese Verhältnisse werden unter Hinzuziehung der Tatsache des Sporenbindungsvermögens von „schwerem", tonigem Boden klar; nicht auf das Grundgestein kommt es an, sondern auf die Bodenform. Löwe selbst führt einen Abschnitt des Geographen Oestreich in Utrecht über Bodenkunde an, in dem es u. a. heißt: „Das bisherige Ergebnis der Pedologie ist gewesen, daß unter dem Einfluß der verschiedenen meteorologischen und biologischen Prozesse auf selbst grundverschiedenen Arten des Untergrundes derselbe Boden entwickelt wird." So können wir in den geologisch verschiedensten Gebieten, im Marschland, auf dem schwäbisch-fränkischen Jura usf. einen Boden finden, der infolge der Feinheit seiner Partikel die Bedingungen für einen gleich hohen Grad des Tetanusreichtums gewährleistet. Andererseits, wenn Löwe die Tetanusarmut, obwohl dies rein agrarische Gebiete sind, in der Norddeutschen Tiefebene oder in Franken nicht erklären konnte, zeigt uns die pedologische Karte in dem Vorliegen von Sandböden in den betreffenden Bezirken den Weg. Denn solche Böden lassen eine Häufigkeit an Starrkrampferkrankungen vermissen, weil sie auf Grund der Sporenmobilisation durch das Regenwasser keine oder nur geringe Tetanusinfektiosität besitzen.

Dafür mag weiterhin als Argument aus der Bodenbakteriologie der Umstand dienen, daß — wie Drescher festgestellt hat — der Sandboden ärmer an Bakterien ist als der Humusboden. Die große Wasserdurchlässigkeit ist es, die den Sandboden nicht nur primär, sondern infolge Nährstoffauswaschung auch sekundär bakterienarm macht. Wenn er trotzdem nicht bakterienfrei wird, liegt dies in der dauernden Vermehrung der gewöhnlichen Bodenkeime begründet. Würde auch der Tetanusbazillus sich im Boden vermehren, wie manche glauben wollen, stünde dazu die Armut des Sandbodens im Widerspruch. Wenn damit auch die Bedeutung der Darmpassage für eine Anreicherung von Tetanusbazillen (vgl. S. 27) von neuem unterstrichen wird, so ist doch für diese Vermehrung Voraussetzung, daß die Tiere mit ihrem Futter Sporen aufnehmen, d. h. daß ihre Umgebung solche enthält. Ist dies nicht der Fall, sind damit die Tierfäzes tetanussteril (Löwe, Lang). So erklärt sich das seltene Auftreten von Starrkrampf auch in bewirtschafteten Sandgebieten, wie etwa in Franken. Umgekehrt macht eine intensive Landwirtschaft einen tetanushaltigen „schweren" Boden nur um so gefährlicher, wie es im Dithmarschen z. B. der Fall ist.

Hier wird der Grund offenbar, warum die Fäkaltheorie in vielen Fällen versagen mußte. Nicht das Vorhandensein tierischer Fäzes ist allein maßgebend für den Tetanusgehalt, sondern auch die Bodenform, die ein Vorhandenbleiben von Sporen, d. h. den dauernden Tetanusgehalt des Bodens erst ermöglicht. Andererseits ist die Fäkaltheorie wieder bestimmend für den Reichtum an Tetanusbazillen, indem dauernde Neuproduktion im Sinne der Fäkaltheorie in Kombination mit schwerem, „tetanusverdächtigem" Boden das Tetanusvorkommen gewährleistet und u. U. bis zur Endemizität potenziert (Dithmarschen, Champagne u. a.).

Aus dieser Gegenüberstellung geht hervor: Beide Theorien, die Fäkaltheorie und die hydropedologische Theorie, öffnen einzeln nur teilweise einen Weg zur Erkennung der Gesetzmäßigkeiten, die der regionalen Verteilungsdifferenz des Tetanus zugrunde liegen. Werden jedoch beide vereinigt, bringen sie durch die Zusammenschau der Unterlagen, die sie einzeln zur Lösung des Tetanusverteilungsproblems beitragen, diese Verteilungsdifferenz dem Verständnis näher. Dabei umfaßt im besonderen die Fäkaltheorie den dynamischen Posten innerhalb des Tetanusvorkommens, indem sie Vermehrung und Verbreitung der Tetanuskeime in sich schließt; neben dieses Aktivum tritt als Ergänzung das Passivum der Keimerhaltung bzw. der Keimelimination, wie es die hydro-pedologische Theorie erfaßt.

An Hand dieser Grundlagen soll nun auf einige speziellere Gebiete, in denen andere Autoren regionale Tetanusdifferenzen feststellten, eingegangen werden. Löwes Tetanusstatistik von Frankfurt a. M. und Umgebung zeigt südlich des Mains eine auffallende ungleiche Verteilung im Gegensatz zu dem Bezirk der Wetterau nordmainisch. Die Tetanuszentren auf der südlichen Hälfte liegen auf den Linien Langen–Dieburg und Gr. Gerau–Griesheim. Nach der bodenkundlichen Karte weist das ganze südmainische Becken Sandboden auf mit der Ausnahme zweier Riegel mit Tonboden; diese beiden schwerbödigen Bezirke zeigen sich bei einem Vergleich im großen und ganzen deckungsgleich mit den Tetanusherden — ein Befund im Sinne unserer Theorie. In der Wetterau und Umgebung liegt einheitlicher Löß- und Lehmboden vor bei etwa gleichmäßiger Tetanusverteilung.

Genannter Autor hat auf derselben Tetanuskarte auch die tierischen Starrkrampffälle eingetragen. Wie auf S. 11 erwähnt, unterscheidet er auf Grund dieser Zusammenstellung zwischen einem in einem bestimmten Gebiet einander ausschließenden Typus humanus und einem Typus equinus. Tatsächlich finden sich auf dieser Karte umgrenzte Bezirke, nämlich die Gegend in Babenhausen oder Teile nordwestlich von Hofheim, die nur tierischen Tetanus aufweisen; darüber hinaus lassen sich klare Abgrenzungen schlecht finden. Nun liegen die beiden genannten, ausschließlich „tierpathogenen" Bezirke auf Sandboden. Dieser ist — wie oben entwickelt — grundsätzlich tetanusarm; für den Menschen, der sich meist im Freien verletzt, besteht daher ein sehr geringer Grad von Tetanusinfektionsgefahr (mit Ausnahme der Straßenverletzungen), was in dem Fehlen von menschlichem Starrkrampf zum Ausdruck kommt. Umgekehrt ziehen sich die Tiere ihre Verletzungen vor allem im Stall zu (s. Kastration); hier kann sich aber der Tetanusbazillus dauernd halten, was bei Gegenüberstellung der Verhältnisse im Sandboden selber auf der Hand liegt.

Ausführlicher soll hier auf dieses Thema nicht eingegangen werden. Doch ist die gegebene Erklärungsweise imstande, starke Zweifel über die Auffassung von einem so ausschließlichen Typus humanus und Typus equinus des Tetanusbazillus aufkommen zu lassen. Bakteriologisch ist zudem noch nie eine solche Typenunterscheidung erfolgt. Gelungen ist allein die Feststellung verschiedener Arten von Tetanusbazillen mit verschiedenen Wuchsformen auf Traubenzuckerblutagarplatten, verschiedenem Verhalten in Milch, Gelatine usw. Damit sei jedoch, um es nochmals zu betonen, die Möglichkeit des Vorhandenseins verschieden pathogener Tetanusbazillen und einer Virulenzänderung auf keinen Fall von der Hand gewiesen. Diese Frage liegt auf einer anderen Ebene und kann innerhalb dieser Arbeit zwar nicht bestätigt, aber auch nicht entschieden werden.

S t o l z e machte auf das seltene Vorkommen von Tetanus bei Kriegsverletzungen der afrikanischen Kriege aufmerksam und erklärte diese Beobachtung damit, daß „der Sand nicht in dem Maße tetanushaltig ist wie die durch Mist verunreinigte Erde"; womit also der Autor sagen will, daß fehlende Düngung im Sand das Ausbleiben von Tetanusinfektionen bedingt. Diese Auslegung ist nicht stichhaltig, sobald wir konsequenterweise an die Sandböden denken, die gedüngt werden und trotzdem tetanusarm oder -frei sind (z. B. Franken). Weil eben Tetanuskeime, sofern sie auf Sandboden verschleppt werden, von der Oberfläche eliminiert werden, darum ist Sandboden durchschnittlich so gut wie tetanusfrei, wofür S t o l z e s Beobachtung oder auch andere Meldungen über Tetanusfreiheit aus Sandbezirken der Westfront des Weltkrieges eindeutige Bestätigungen darstellen.

Campell stellte eine Tetanusstatistik für Graubünden auf und teilte es darnach in eine „tetanusverdächtige Zone" (der nördliche, kleinere Bezirk) um das Rheintal und eine „tetanusantigene Zone" ein. Letztere nannte er trotzdem so, obwohl sich auch in ihr vereinzelte menschliche Tetanusfälle finden; doch überwiegen in diesem Bezirk weitaus tierische Starrkrampffälle. Dieses erklärt sich — wie auch Campell vermutet — wiederum damit, daß die Tetanusbazillen in den Ställen sich halten und die Tiere bei Durchführung der Kastration durch Laien usf. befallen können. Daß es dabei auch u. U. zu einer menschlichen Tetanusinfektion kommen kann, zeigt die ermittelte Statistik. Im Freien jedoch verschwinden — wie wir annehmen — etwa vorhandene Sporen, weist doch diese „antigene Zone" nur Wälder und Gebirgsweiden (Schotterboden) auf. In diesem Sinne dient auch die Feststellung von Lang, der in Davos nur in und um Ställe, nirgends aber in der näheren und weiteren Umgebung positive Tetanusproben gefunden hat. — Die positiven Fälle erklärt er mit Einschleppung aus anderen Gegenden. In der „tetanusverdächtigen Zone" Campells um den Oberrhein dagegen finden sich auch Ackerbau auf schwerem Boden und dichtere Bevölkerung. Gehäufter Tetanus ist damit auf Grund unserer entwickelten Auffassung durchaus verständlich. Praktisch ist also die Einteilung Campells richtig, prinzipiell dagegen nicht, weil dieser von den falschen Voraussetzungen ausgeht, der Tetanusbazillus könne sich nur in der „tetanusverdächtigen Zone" „im Kulturboden erhalten und sich dort vermehren".

Die dargelegten genetischen Zusammenhänge bei den verschiedenen Tetanuszonen Campells in Graubünden gelten auch für das allgemeine Tetanusvorkommen in der Schweiz, indem die landwirtschaftlichen, tiefer gelegenen Kantone tetanusverdächtiger sind als die Bergregionen. So sah Quervain in La Chaux de Fonds, 1000 m über dem Meere, Tetanus recht selten, in Basel und Bern dagegen häufig. Daß Graubünden seinerseits von allen gebirgigen Kantonen am tetanusärmsten ist, liegt in seiner Abgeschlossenheit begründet, wodurch nur ein geringer Nachschub aus tetanusreichen Gegenden — im Gegensatz zum Wallis — bedingt ist. Damit wäre auch Langs Auffassung von dem in der Schweiz von Osten nach Westen zunehmenden Tetanusreichtum zu begründen.

Dieselben Gesichtspunkte gelten für die regionalen Starrkrampfdifferenzen in Österreich, wie sie Kunz feststellte (S. 8), indem die lößreichen Länder Steiermark, Niederösterreich, auch Kärnten eine höhere Tetanusstatistik aufweisen als die andern gebirgigen Teile trotz deren Viehreichtum.

Bodewig stellte eine Statistik der Tetanusfälle aus dem Rheinland vom Jahre 1910—1925 (mit Ausnahme der Kriegszeit) auf und

kam zu dem Ergebnis, daß der Starrkrampf nicht selten sei, was um so bemerkenswerter ist, als dort von der Serumprophylaxe ausgiebig Gebrauch gemacht wird. Als auffallend im Sinne der Ubiquität der Keime in tetanusreichen Bezirken ergibt sich die hohe Zahl von Tetanusfällen im Anschluß an Verletzungen, die gar nicht mit dem Boden in Berührung gekommen (Stacheldraht, Holzsplitter, landwirtschaftliche Maschinen u. a.). Dieser Befund macht auf einen weiteren Faktor aufmerksam, der für die Verbreitung der Tetanuskeime Bedeutung hat, auf den Staub, welcher dazu führt, daß sich fast überall, in unserer nächsten Umgebung und auch auf unserer Haut Tetanusbazillen finden (E i s l e r). Diese Rolle des Staubes wird um so deutlicher, wenn man sich erinnert, daß die Sporen besonders zahlreich an den kleinen Bodenpartikelchen haften — wie oben festgestellt —, welche ihrerseits ja am meisten der Aufwirbelung und Verbreitung durch den Wind (s. Straßenstaub) ausgesetzt sind. Durch diese Komponente Wind — Staub ist infolgedessen bei tetanushaltigem Boden mit einer generellen Ubiquität des Tetanusbazillus zu rechnen; so haben H e c k e r, U h l e n h u t und H ä n d e l im Wohnungsstaub, in Kleidungsstücken, an Stiefeln, an und im menschlichen Körper Tetanusbazillen nachgewiesen (E i s l e r).

Dem Fehlen dieses mechanischen Faktors, des Windes, möchten wir es andererseits zuschreiben, daß nach den Berichten von B o d e w i g u. a. in unterirdischen Bergwerken keine Tetanusgefahr besteht. Für letzteres sieht L ö w e mit seiner Virulenztheorie wiederum den Grund darin, daß auf der Steinkohle „der Tetanusbazillus nicht als pathogener Keim zu leben vermag". Daß aber auch in Kohlebergwerken der Tetanusbazillus virulent bleiben kann, zeigt ein Fall aus der Literatur, bei dem der an Tetanus Erkrankte nachweislich seine virulenten Keime von einem Gegenstand bezogen hatte, der auf dem Boden des Stollens gelegen war (B o d e w i g). Dorthin werden die Sporen, an den Schuhsohlen haftend, von den Bergleuten eingeschleppt; eine weitere Verbreitung bleibt aber bei dem Fehlen einer genügend intensiv wirksamen Bodenstaubaufwirbelung aus. So erklärt sich die große Seltenheit von Tetanusinfektionen, zumal an einer primären Tetanussterilität des Gesteins nicht zu zweifeln ist.

Gegen L ö w e s Auffassung und für die Ansicht, daß die Tetanusseltenheit in den Gruben ihren Grund in der Geringfügigkeit der Bazilleneinschleppung und -ausbreitung hat, spricht die Tatsache, daß in früheren Zeiten, als noch Pferde unter Tag als Betriebskraft dienten, Tetanus häufiger vorkam, wie S t o l z e von dem Mansfelder Bergwerksbetrieb berichtet.

Das Tetanusvorkommen in Industriebezirken ist uneinheitlich. B e r g h a u s, der sämtliche Tetanustodesfälle von Baden für den

Zeitraum 1882 bis 1931 statistisch erfaßte, fand die landläufige Ansicht bestätigt, daß in Bezirken mit rein ländlichen Verhältnissen der Tetanus verhältnismäßig häufiger vorkommt als in Industriegegenden. Nach einer Statistik aus Westfalen, von der Hübner berichtet, kamen die meisten Fälle nicht in der Landwirtschaft, sondern in der Industrie vor. Aus den ausgesprochenen Metallindustrien wird dagegen seltenes Auftreten von Starrkrampferkrankungen mitgeteilt (Wainright, Stolze; nach Kunze). Doch wird solche immerhin beobachtet, wie aus der von Kunz zitierten Umfrage Wainrights bei den Chirurgen großer amerikanischer Industriewerke hervorgeht. Jedenfalls ist bei diesen Industrieverletzungen eine Einschränkung der Serumprophylaxe bei rationeller Auswahl und ohne Schaden möglich, wie Stolze in einer Arbeit aus der Frankfurter Klinik zeigt.

Aus den letzten Ausführungen wird deutlich, daß es besondere, umschriebene Bereiche gibt, die keine Gesetzmäßigkeiten in ihrem Tetanusvorkommen erkennen lassen. In diesen ist die Indikationsstellung für Anwendung oder Unterlassung der Tetanus- und speziell der Serumprophylaxe nach wie vor dem Ermessen des jeweiligen behandelnden Arztes anheimgestellt. Aber abgesehen von diesen vereinzelten, für die Prophylaxe in besonderer Weise unklaren Verhältnissen, in denen bei ihrer Mittelstellung sogar ein gewisser Grad von Wahrscheinlichkeit im Sinne einer erfolgten oder nicht vorliegenden Tetanusinfektion bei einer Verletzung kaum zu bestimmen ist, erweist sich die Tetanusfrage als relativ übersichtlich. Unsere Untersuchungen zeigten Gesetzmäßigkeiten auf, bei deren Beachtung es möglich ist, eine Tetanusinfektion bei einem Verletzungsfall mit einem höheren Grad von Wahrscheinlichkeit als bisher auszuschließen oder anzunehmen. Als Kriterium dafür dient die Bodenform des Ortes der Verletzung, indem ein schwerer Boden als tetanusverdächtig, Sandboden als tetanusarm oder -frei zu gelten hat.

*Infolge der Ubiquität des Tetanusbazillus in Löß- und Lehmgebieten muß bei jeder Verletzung, auch bei solchen, die nicht auf freiem Feld, sondern etwa im Hause erfolgt sind oder als unbedeutend erscheinen können, mit einem — bis zu sehr — wahrscheinlichen, im Einzelfall (landwirtschaftliche, Straßenverletzungen) auch mit einem geradezu sicheren Vorliegen einer Tetanusinfektion gerechnet werden. Sandgebiete umgekehrt erlauben viel eher, eine Tetanusinfektion — wegen deren Unwahrscheinlichkeit — auszuschließen, vorausgesetzt, daß es sich nicht um Verkehrs- und Stallverletzungen mit deren nie auszuschaltendem Infektionsverdacht handelt; womit nicht ausgeschlossen sein*

*soll, daß in Sandgebieten mit wenig Durchgangsverkehr und fehlendem Austausch von Pferden und Vieh aus tetanusreichen Gegenden auch die Straßen und Ställe tetanusfrei sein können.*

Für die Tetanusprophylaxe ergeben sich daraus leitende Gesichtspunkte:

1. Bei Verletzungen innerhalb von — auch landwirtschaftlichen — Sandgebieten liegt keine überwiegend absolut strenge Indikation für eine Tetanusserumprophylaxe vor; „eine rechtlich bindende Notwendigkeit" (H ü b n e r) für eine prophylaktische Tetanusseruminjektion ist in solchen Gebieten nicht anzuerkennen.
2. Verletzungen aus Löß- und Lehmbezirken erfordern gewissenhafte und intensive Tetanusprophylaxe.
3. Verletzungen auf Straßen, in Verkehrszentren und deren Umgebung lassen eine erfolgte Tetanusinfektion nie ausschließen, da für Straßen keine geographischen Unterschiede im Tetanusvorkommen vorliegen. Sie erfordern daher eine sorgfältige oder mindestens jeweils genau abgewogene Prophylaxe.

## Zusammenfassung.

1. Die regionale Verschiedenheit des Tetanusvorkommens liegt in erster Linie in dem regional verschieden großen Gehalt des Bodens an Tetanusbazillen begründet. Straßen, Verkehrs- und Industriezentren lassen eine Abhängigkeit ihres Tetanusvorkommens von demjenigen der jeweiligen Umgebung und damit regionale Verteilungsdifferenzen im allgemeinen vermissen.

2. Eine Vermehrung der Tetanusbazillen im Dünger und gedüngten Boden ist sehr unwahrscheinlich; sie erfolgt bei der Tierpassage des Bazillus im Sinne der Fäkaltheorie. Die dauernde Reinfizierung eines Bodens ist damit gewährleistet. Künstliche Düngung hat keine sichtliche Bedeutung für das Tetanusvorkommen.

3. Voraussetzung für den Tetanusbazillengehalt der Fäzes, insbesondere der Pflanzenfresserexkremente, ist die Aufnahme von Tetanuskeimen mit der Nahrung. Dies bedeutet die Grenze der Fäkaltheorie.

4. Aus Untersuchungen wird die hydropedologische Theorie abgeleitet, nach der leichter, sandiger Boden unter der Einwirkung der Niederschläge auf Grund seiner Porenweite und fehlenden Adsorptionskraft, d. h. wegen der Größe seiner Partikel, etwa vorhandene Sporen und damit seine Tetanusinfektiosität verliert – Voraussetzung ist, daß auch tatsächlich eine Wasserversickerung

vorliegt. Darin liegt das Versagen der Fäkaltheorie begründet. Auf Sandboden kommt daher viel seltener Starrkrampf vor, was die Empirie bestätigt.

5. Schwerer, feinkörniger Boden ist auf Grund der Adsorptionskraft seiner kleinen Partikel die Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Tetanusinfektiosität eines Gebietes. Die Verbindung der Fäkaltheorie mit der hydropedologischen gibt die Verhältnisse wieder, auf denen die Erhaltung der Tetanusgefahr eines solchen Bodens und die endemische Steigerung der Tetanushäufigkeit in einzelnen Bezirken beruht.

6. Die Annahme einer Virulenzänderung des Tetanusbazillus ist zur Erklärung der Unterschiede im Auftreten des Starrkrampfes nicht erforderlich und unwahrscheinlich. Die Möglichkeit einer Virulenzumstimmung im Sinne einer qualitativ oder quantitativ verschiedenen Pathogenität auf Grund besonderer Untergrundseinflüsse konnte nicht bestätigt, jedoch auch nicht ausgeschlossen werden.

7. Die Untersuchungen ergeben für die Tetanusschutzbehandlung Richtlinien, nach denen sich die Indikationen für Anwendung oder Unterlassung der prophylaktischen Tetanusantitoxininjektion — bei unbedingter Beibehaltung der Wundausschneidung — leichter stellen lassen.

---

Am Schlusse meiner Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. Stickl für die Überlassung des Themas und für die Unterstützung, die ich bei der Durchführung der Versuche im Institut finden durfte, herzlich danken.

# Literaturverzeichnis.


Anton, H., Anh. f. Hyg. 105, 1931, S. 275.

Berghaus, W., Die Tetanussterblichkeit in Baden, M. W. Nr. 32, 1933.

Blanck, E., Handbuch der Bodenlehre 1930, 6. Band: Die physikalische Beschaffenheit des Bodens (Zunker).

Bodewig, H., Das Vorkommen des Tetanus im Rheinland in der Friedenspraxis und die Behandlung derselben. Beitr. Klin. Chir. 139, 1927.

Campell, R., Tetanusprophylaxe in der Praxis, mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Kanton Graubünden. Schweiz. Med. Wochenschr. Nr. 32, 1929.

Drescher, K., Über den Keimgehalt, sowie das Coli- und Tetanusvorkommen im Waldboden des Hochschwarzwaldes. Diss. Freiburg i. Br. 1936.

Damon, S. R. and Payabal, L. B., Distribution of Spores in the soil. Journ. Inf. Diseas Vol. 39, 1926, S. 491.

Dubovsky, B. J. and Meyer, K. F., The occurence of B. Tetani in soil Journ. Inf. Diseas Vol. 31, 1922, S. 614.

Ehalt, W., Chir. 20, 1938 und M. M. W. Nr. 34, 1938.

Eisler, M., Tetanus, Handbuch der pathogenen Mikro-Organismen, 3. Aufl. 1928. 4. Band.

Fildes, P. zit. aus Zbl. Bakt. Ref. 88, 1928, S. 365.

Gilles, E. C., A satisfactory Method of isolating Tetanus Amerik. Journ. of Hyg. Vol. 26, 1937, S. 394.

— The isolating of Tetan. bac. from street dust zit. aus Zbl. Hyg. Ref. 40, 1938, S. 550.

Glamser, zit. Zbl. Hyg. Ref. 82, 1926, S. 328.

Gußmann, A., Über die in württembg. Heimlazaretten beobachteten Tetanusfälle seit Kriegsbeginn bis zum 30. April 1916. Beitr. Klin. Chir. 107, 1917.

Hinstorff, D., Die Abhängigkeit der Tet.-Prophylaxe von der Verschiedenheit des regionalen Vorkommens der Erkrankung. Chir. Nr. 1, 1933.

Hübner, A., Grundsätzliche Fragen zur Behandlung des Tetanus. D. M. W. Nr. 6, 1939.

Hirsch, zit. aus Lang, S. 23.

Keßler, P., Unsere Böden und ihre Düngung, 1931.

Knorr, M., Zbl. Bakt. Bd. 99, 1926, S. 576.

Kolle-Hetsch, Experimentelle Bakteriologie und Infektionskrankheiten, 8. Aufl. 1938.

Kreuter, Bericht über 31 Tet.-Fälle nach Kriegsverletzungen. M. M. W. 46, 1914.

Kunz, H., Über das Vorkommen von Wundstarrkrampf in Österreich. Wien. klin. Wochschr. Nr. 21, 1934.

— Soll bei jeder offenen Verletzung die Serumprophylaxe gegen Wundstarrkrampf durchgeführt werden? Wien. kl. Wochenschr. 26, 1935.

Lang, W. J., Über die Verbreitung des Bac. Tetani Nikolaier im Erdboden der Schweiz. Diss. Lausanne 1928.
Lehmann, J. C., Junghanns, H., Kirschner, M., Rehn, E., Magnus, G., H. v. Haberer u. a., Aussprache über die Notwendigkeit der Tetanusprophylaxe. M. Kl. Nr. 21, 23, 24, 1939.
v. Lingelsheim, W., Tetanus, Handbuch der pathogenen Mikro-Organismen. 2. Aufl. 1928, 4. Band.
Löwe, O., Die Tetanusprophylaxe in ihrer Abhängigkeit von geographischen und geologischen Verhältnissen. M. W. 51, 1932.
— Theorie und Praxis in der Tetanusprophylaxe M. W. Nr. 19, 1937.
Madelung, Über Tetanus bei Kriegsverwundeten. M. M. W. Nr. 52, 1914.
Pochon, J. und Ramon, G., zit. Zbl. Hyg. Ref. 38, 1937, S. 504 und 37, 1936, S. 691.
Scheunemann, K., Untersuchungen über das Vorkommen von Tetanusbazillen im Stuhl nicht tetanuskranker Menschen. Arch. Hyh. 105, 1931, S. 287.
Schmidt, H., Die Serumprophylaxe des Tetanus. II. Bd. der Behringbücherei.
Schmidt, H., Bürkle de la Camp, H., Hempel, C., Zur Serumprophylaxe des Tetanus. M. W. Nr. 18, 1937.
Schmidt, R., Über das Vorkommen von Tetanuskeimen im Boden des Kaiserstuhls. Veröff. Heer.-Sanitätswesen Heft 105, 1938.
Sormani, zit. aus Lang S. 23.
Stremme, H., Die Böden des Deutschen Reiches. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 228, 1936.
Stolze, M., Das Problem der Tetanusprophylaxe vom klinischen und juristischen Standpunkte. Klin. W. Nr. 14, 1929, S. 636.
Wolff-Eisner, A., Über die Dosierung der experimentellen Tet.-Infektion. M. M. W. Nr. 30, 1926.
Young, M., Die geographische Verteilung des Tetanus in England und Wales. Zit. Zbl. Bakt. Re. 88, 1928, S. 365.
Zeißler, J., Anaerobenzüchtung, Handbuch der pathogenen Mikro-Organismen. 3. Aufl. 1930, 10. Band.

# Inhaltsübersicht.


Seite

Einleitung . . . . . 5

Das Problem der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens . . . 7

Versuchsanordnung . . . . . 14

Tetanusvorkommen und Fäkaltheorie . . . . . 21

Sickerversuche . . . . . 29

Die hydropedologische Theorie in der Erklärung der regionalen Verschiedenheit des Tetanusvorkommens . . . . . 38

Zusammenfassung . . . . . 47

## Lebenslauf.

Am 1. Mai 1916 wurde ich, Eugen Hermann Weller, in Linping (China) geboren als Sohn des Missionars Paul Weller und seiner Ehefrau Berta geb. Schober. 1921 nach Deutschland gekommen, besuchte ich in Vaihingen/Enz die Volksschule und anschließend die Lateinschule. 1929 siedelten wir nach Heilbronn über, wo ich das Karls-Gymnasium bis zur Reifeprüfung, die ich im Frühjahr 1934 ablegte, durchlief. Nach Ableistung des Pflichthalbjahres beim Arbeitsdienst in Mühlacker begann ich im Herbst 1934 in Tübingen das Studium der Medizin. Dort bestand ich 1935 den ersten und 1937 den zweiten Teil der Ärztlichen Vorprüfung. Das erste klinische Semester verbrachte ich in Königsberg, die nächsten beiden in Berlin. Dann kehrte ich wieder nach Tübingen zurück und legte dort im Sommer 1939 das Medizinische Staatsexamen ab. Im Oktober 1939 erhielt ich die Bestallung als Arzt. Nach einer militärischen Grundausbildung sofort nach Kriegsausbruch war ich zunächst an ein Reservelazarett kommandiert und stehe seit Juni 1940 als Truppenarzt im Felde. Meine „vorläufige Promotion" datiert von Mai 1940.